12

Obturation de l'endodonte

L. POMMEL, W.-J. PERTOT

- Ce que l'on place dans l'endodonte est plus important que ce que l'on peut en retirer. Que pensez-vous de cette affirmation ? Argumentez.
- Ce que l'on ôte de l'endodonte est plus important que ce que l'on peut y placer. Que pensez-vous de cette affirmation ? Argumentez.

Ces deux questions devraient figurer dans les urnes de sujet d'examen d'endodontie de la majorité des facultés. À laquelle de ces deux questions serions-nous le plus à même d'apporter une réponse ? Le choix est difficile tant elles ont alimenté la controverse et continuent de le faire.

Pendant longtemps, la première affirmation semblait prévaloir pour expliquer la présence de lésions péri-apicales sur les radiographies de contrôle de dents mal obturées. Cet « épisode de l'histoire endodontique » a été parfaitement illustré dans une revue de littérature (Machtou, 2004).

Rickert et Dixon (1931) concluaient que la stagnation puis la dégradation organique des fluides sériques « absorbés » par les espaces endodontiques vides de canaux mal obturés libéraient des substances très immunogènes qui provoquaient et entretenaient l'inflammation péri-apicale. Cette théorie du tube creux *(hollow tube theory)* a été soutenue par une étude de suivi clinique de cas traités à l'université de Washington en 1965 et publiée depuis dans l'ouvrage *Endodontics* (Ingle, 1965). La conclusion mentionnait la corrélation entre un taux d'échecs de plus de 58 % et une mauvaise obturation endodontique. Ce résultat a engendré depuis toute une série d'études dont le but était de déterminer quelle technique (matériaux et méthode) était susceptible de fournir la meilleure étanchéité, si ce n'est l'étanchéité absolue, et cela de manière itérative et durable. Plus de 500 articles publiés entre 1975 et 2010 sont référencés dans la base de données médicales PubMed. La plupart des matériaux et des techniques d'obturation canalaire ont été évalués *in vitro* par différentes méthodes : traceurs radioactifs, pénétration de colorant, analyse électrochimique, filtration de fluide, de bactéries et/ou de toxines (lipopolysaccharides) et, plus récemment, utilisation de gaz (Romieu *et al.,* 2008).

Plusieurs remarques en découlent :

- la *Washington study,* ayant essentiellement porté sur le défaut d'obturation, a occulté l'importance de la mise en forme et de la désinfection canalaires. Or, il est évident qu'un manque de mise en forme ne peut aboutir qu'à une obturation défectueuse. En d'autres termes une mauvaise obturation est, dans la majorité des cas, liée à un manque de mise en forme qui entraîne un manque de nettoyage et de désinfection ;
- les différentes études *in vitro* réalisées sur l'étanchéité ont donné des résultats souvent contradictoires. De plus, certaines études, ne détruisant pas les échantillons, ont permis de croiser différentes méthodes d'analyse dans les mêmes groupes et montrent l'absence de corrélation entre elles (Barthel *et al.,* 1999 ; Pommel *et al.,* 2001). En clair, les résultats obtenus sur les mêmes dents et pour une même technique étaient différents en fonction de la méthode d'analyse ;
- cela souligne le faible degré de validité à accorder aux études *in vitro* en termes d'étanchéité et la nécessité de déterminer la place de ce paramètre dans le pronostic clinique du traitement, par des études fondées sur la preuve *(evidence-based studies).* Ces raisons ont d'ailleurs poussé le comité de rédaction du *Journal of Endodontics* (publication officielle de l'American Association of Endodontists) à refuser, en décembre 2007, la publication d'articles émanant d'études *in vitro* sur l'étanchéité canalaire. Cette décision a été immédiatement suivie par l'ensemble des autres revues scientifiques d'endodontie référencées. Elle porte uniquement sur les techniques d'évaluation, qui servent finalement à classer les différents matériaux entre eux. Celles-ci ne remettent pas en cause le principe d'évaluer cette étanchéité dans les conditions cliniques mais celui d'en extrapoler le « résultat biologique » de l'obturation. Une seule étude sur l'animal (Friedman *et al.,* 1997) a consisté à placer de la plaque bactérienne sous la restauration coronaire des dents dont l'obturation devait être testée. L'évaluation a porté sur l'inflammation péri-apicale induite par le biais d'une observation histologique. Mis à part l'aspect subjectif inhérent à l'évaluation histologique ainsi que la faible durée de l'étude (14 semaines), ce modèle semble être celui qui se rapproche le plus des conditions cliniques et de la réalité. Il a cependant rarement été réutilisé ;
- l'obturation canalaire pour but, outre l'étanchéité, d'empêcher la recolonisation du système canalaire par les bactéries et de supprimer tout espace libre susceptible de les abriter. Il faut considérer un paramètre supplémentaire : la tridimensionalité de l'obturation, c'est-à-dire le volume du canal occupé par le matériau d'obturation. La quasi-totalité des études *in vitro* ont démontré que les techniques de compactage de gutta-percha chaude permettaient une obturation plus complète du système canalaire (notamment des canaux ovales) que les techniques mono-cône ou de la gutta-percha condensée à froid ;

d'obturation

6684_.indb 243 01/08/12 15:36

- il est nécessaire de sceller l'endodonte.

Il est admis, depuis 1965, que les inflammations apicales et péri-apicales ont pour origine une contamination par des bactéries endodontiques et leurs toxines (Kakehashi *et al.,* 1965 ; Möller *et al.,* 1981). Depuis cette date, deux types d'infections endodontiques ont été distingués :

- l'infection primaire de la pulpe suite à une contamination directe par percolation coronaire (carie, fêlure, infiltration autour d'une restauration…) ;
- l'infection secondaire d'un canal déjà traité, induite :
  - par la persistance dans le système canalaire de bactéries résiduelles non éliminées au cours du traitement,
  - par des bactéries introduites pendant le traitement initial (défaut d'asepsie),
  - par percolation bactérienne survenant dans le temps associée à un défaut d'étanchéité coronaire.

Ces deux types d'infections n'ont pas les mêmes conséquences car elles incriminent des communautés bactériennes différentes et leur réaction au traitement est soit plutôt favorable (infection primaire) soit moins favorable et moins prévisible (infection secondaire) (Sjögren *et al.,* 1990), et ce quelle que soit la technique d'obturation utilisée.

Essentiel : **le défaut d'obturation endodontique est largement considéré comme un facteur prédominant dans l'induction ou l'entretien des infections apicales. Néanmoins, il convient de garder à l'esprit que ce sont le nettoyage et la mise en forme qui sont les principaux facteurs du succès endodontique et que l'obturation ne peut jouer son rôle que dans des canaux préalablement mis en forme et désinfectés. Le terme obturation, qui évoquait essentiellement l'endodonte, s'est progressivement élargi à la qualité de l'obturation coronaire (restauration corono-radiculaire) pour considérer la « porte d'entrée » secondaire des bactéries et prévenir une nouvelle contamination.**

Cette situation soulève donc deux questions principales :

- quelle est l'implication de chacun des facteurs tels que la nature de l'infection initiale, la désinfection, l'obturation coronaire et apicale, dans le succès thérapeutique ?
- ôter le contenu du canal est-il plus important que ce que l'on peut y placer ?

Les auteurs ont alors voulu déterminer la meilleure technique de mise en forme et de désinfection : tests de différentes solutions d'irrigation et de concentrations, mise en place d'une médication en interséance, sélection de la meilleure technique de mise en forme (élargissement apical ou conicité accentuée) etc.

Concernant la mise en forme et la désinfection canalaires, il n'apparaît aucune corrélation entre les résultats obtenus entre les expérimentations *in vitro* et les études *in vivo*. Aucune étude ne permet de confirmer la supériorité clinique d'une méthode par rapport à une autre de manière indiscutable *(voir chapitres 10 et 11 sur la mise en forme et l'irrigation).*

La seule étude comparative publiée à ce jour et évaluant deux concepts de mise en forme et d'obturation (préparation avec élargissement apical puis obturation en condensation latérale à froid de gutta-percha *versus* préparation manuelle en technique sérielle puis obturation en compactage vertical à chaud) a montré :

- un taux de succès identique entre les deux concepts dans les traitements initiaux sur les dents sans lésion inflammatoire périradiculaire d'origine endodontique (LIPOE) préopératoire ;
- un taux de succès supérieur de 10 % avec la technique sérielle et l'obturation à la gutta chaude pour les dents avec LIPOE préopératoire (Friedman *et al.,* 2003 ; Farzaneh *et al.,* 2004 ; de Chevigny *et al.,* 2008).

Important ! **Un consensus existe cependant sur le fait qu'aucune technique de mise en forme et de désinfection ne permet d'éliminer à 100 % les débris pulpaires ou les bactéries de l'endodonte (Shuping *et al.,* 2000 ; Card *et al.,* 2002 ; Sjögren *et al.,* 1997). Dès lors, la nécessité de placer une obturation la plus étanche, la plus tridimensionnelle et la plus stable possible est évidente.**

L'influence de la qualité du traitement endodontique et de la restauration coronaire dans le succès clinique a été confirmée dans plusieurs études. La première étude clinique publiée (Ray et Trope, 1995) a, de manière étonnante, accordé une plus grande importance à la restauration coronaire qu'au traitement endodontique : les résultats avaient montré un taux de succès plus élevé dans les dents avec une bonne restauration coronaire et un mauvais traitement endodontique que dans les dents avec un bon traitement endodontique et une mauvaise restauration coronaire.

Néanmoins, toutes les études suivantes ont relativisé les effets de la restauration coronaire par rapport au rôle du traitement endodontique (Tronstad *et al.,* 2000). Ricucci et Bergenholtz (2003) ont remis en question le rôle de la restauration coronaire lors d'une étude clinique rétrospective d'une durée de 3 ans. Elle portait sur des dents manifestement contaminées après traitement endodontique (carie, perte de restauration…) : 78 % d'entre elles ne montraient aucun signe radiologique de parodontite apicale.

Au final, l'ensemble des études a souligné les limites des études *in vitro* et confirmé l'importance de la bonne réalisation du traitement endodontique, toutes étapes confondues, depuis la mise en forme et la désinfection du système canalaire, en passant par l'obturation tridimensionnelle étanche et jusqu'à la restauration coronaire qui permet la stabilité du traitement dans le temps. Priver les bactéries résiduelles d'espace où se développer ainsi que de nutriment susceptible de les sustenter incombe à l'obturation canalaire. Bloquer le passage des bactéries dans l'endodonte et prévenir sa réinfection incombe à la reconstitution coronaire *(fig. 12.1).*

Les objectifs de l'endodontie moderne énoncés par Schilder (Schilder, 1967 et 1974) sont ainsi confirmés et la triade du succès (nettoyer, mettre en forme et obturer de manière tridimensionnelle et étanche) est dorénavant acceptée par tous.

6684_.indb 244 01/08/12 15:36

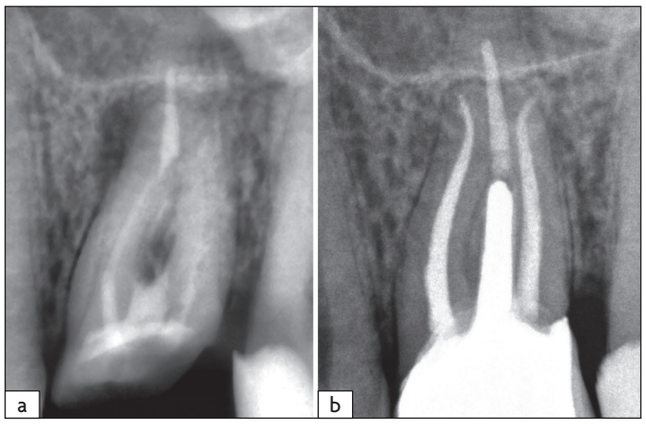


Figure 12.1 La mise en forme et le nettoyage du système canalaire, puis son obturation tridimensionnelle étanche par compactage de gutta chaude, suivie d'une obturation coronaire étanche, permettent le succès à long terme du traitement endodontique.

À l'issue du traitement initial et surtout du retraitement, l'obturation doit sceller l'ensemble du réseau endodontique dont la complexité a été décrite dès 1917 par Hess et a été récemment confirmée par plusieurs études (Vertucci, 2005). Anastomoses, isthmes, canaux secondaires, dédoublements, conjonctions, asymétrie du *foramen* sont autant d'écueils à gérer au cours des étapes cliniques de désinfection, de mise en forme et d'obturation.
L'indication générale est d'isoler l'intérieur de la dent de toute présence bactérienne. Ainsi, l'obturation est donc évoquée pour toutes les voies thérapeutiques concernant le canal radiculaire :
- pour les traitements par voie orthograde, lors du traitement initial et du retraitement. L'obturation des canaux finalise et assure les résultats de la mise en forme et de la désinfection. Elle doit également participer au scellement d'une éventuelle communication endo-parodontale (d'origines iatrogène ou physiopathologique) et permettre l'apexification des dents immatures infectées ;
- pour les traitements par voie rétrograde, qui le plus souvent sont utilisés pour pallier un échec de la précédente, si la mise en forme d'une cavité réduite à l'aide d'insert ultrasonore est envisageable, la désinfection est utopique et le rôle de l'obturation primordial.

Essentiel : **cette entrée en matière permet de soulever plusieurs questions : comment obturer et avec quoi ? Quand obturer ? Quelle technique utiliser ? Quels sont les résultats publiés en termes de santé publique ?**

I - Comment obturer ?

Les premières méthodes et techniques d'obturation ont été décrites dès la fin du XIX^e^ siècle (Baldensperger et Buquet, 1984). Depuis Schilder en 1967, Grossman en 1970 et Marmasse en 1974, jusqu'à Schmalz en 2003, l'ensemble des méthodes, techniques et matériaux d'obturation n'ont cessé d'évoluer ainsi que le cahier des charges qui leur incombe. Ainsi, pour Grossman (1970), le matériau d'obturation idéal devait :
- être facile à introduire dans le canal ;
- sceller le canal latéralement et apicalement ;
- être bactéricide ou au moins bactériostatique ;
- être radio opaque ;
- être stérilisable ;
- être facile à enlever et désobturer.

Il ne devait pas :
- subir de rétraction au cours de la prise ou après ;
- être altéré par l'humidité ;
- entraîner de coloration de la dent ;
- irriter les tissus péri-apicaux ;
- altérer la structure dentaire.

Pour Schmalz (2003), le matériau doit présenter des propriétés techniques, biologiques et de manipulation :
- propriétés techniques :
  - absence de rétraction,
  - non soluble dans les fluides apicaux,
  - bonne adhésion/adaptation à la dentine et entre les différents matériaux,
  - absence de porosité,
  - absence de coloration dentaire ;
- propriétés biologiques :
  - non allergène pour le patient et le personnel soignant,
  - non irritant pour les tissus,
  - stérile,
  - bactéricide ou bactériostatique,
  - stimulant du processus de cicatrisation ;
- propriétés pratiques de manipulation :
  - être radio-opaque selon la norme ISO 6876,
  - présenter un temps de prise adéquat pour la mise en place et le contrôle radiographique,
  - être facile à mettre en place et à éliminer en utilisant un solvant, la chaleur ou une instrumentation mécanique.

Il est étonnant de constater que ce dernier auteur a supprimé la préservation des structures dentaires puisque certains (Grigoratos *et al.,* 2001) ont montré que l'hydroxyde de calcium, largement utilisé, peut altérer la résistance biomécanique de la dent et que d'autres (Teixeira *et al.,* 2004) prétendent qu'il l'augmente.
Nous aborderons successivement :
- les matériaux d'obturation canalaire en utilisation temporaire pour l'interséance ;
- les matériaux pour obturations canalaires définitives ;
- les matériaux d'obturation utilisés en endodontie pour d'autres applications. Il s'agit des ciments minéraux et des ciments à base d'oxyde de zinc renforcé avec de la résine. Ils sont utilisés pour l'obturation des apex ouverts, dans le traitement des perforations et en chirurgie endodontique.

Essentiel : **tous ces matériaux sont placés au contact de la circulation sanguine et des tissus vivants, de manière intentionnelle ou non : os, muqueuse et tissu conjonctif, sinus, nerf, mais aussi peau et organes du personnel soignant. Par conséquent, un bon niveau de biocompatibilité est requis et, idéalement, une certaine bioactivité est recherchée.**

6684_.indb 245 01/08/12 15:36

En Europe, les premières exigences de qualité pour tout produit composé, ou dispositif médical reposent sur l'attribution du marquage « CE ». En France, c'est l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (AFSSAPS), sous tutelle du ministère de la Santé, qui est habilitée à valider le processus d'attribution du marquage et à garantir le produit (article L. 5311-1 du Code de la santé publique). La directive s'appliquant aux matériaux et dispositifs d'obturation est la 93/42 CEE. La marque CE doit être présente sur l'emballage du produit et garantit des critères de sécurité et de qualité mais ne signifie pas pour autant que le matériau a subi un ou plusieurs tests cliniques. Ainsi et dans ces conditions, le choix du matériau est sous la responsabilité directe du praticien qui sera libre d'effectuer les demandes ou recherches bibliographiques concernant le produit. Un nombre important de tests de biocompatibilité a été établi. La norme ISO 10993 se répartit en une vingtaine d'amendements qui portent sur les tests de cytotoxicité *in vitro* (n° 5), de sensibilisation et d'irritation cutanée (n° 10), d'identification et de quantification des produits de dégradation des dispositifs médicaux à base de polymères (n° 13), de génotoxicité, cancérogénicité (n° 3), etc. Ces tests, réalisés *in vitro* sur des cultures cellulaires, ont une portée limitée car le matériau n'est pas testé dans la situation clinique et histologique réelle.

Les tests *in vivo* sur l'animal sont divisés en deux parties :

- les tests d'implantation, qui consistent à implanter le matériau en sous-cutané, en intramusculaire, en intra-osseux ou au contact d'un nerf chez le rat, la souris, le lapin... Ils ont pour intérêt de vérifier la cicatrisation tissulaire au contact des matériaux ;
- les tests d'utilisation, qui ne sont théoriquement réalisés que si les tests d'implantation sont positifs et qui consistent à utiliser les matériaux chez les animaux dans les mêmes conditions que leur utilisation clinique (obturation canalaire, obturation de perforation, obturation *a retro* en chirurgie endodontique).

A - Matériau d'interséance, l'hydroxyde de calcium

L'hydroxyde de calcium ($CaOH_2$) est disponible soit pur, sous forme de poudre à mélanger à de l'eau stérile, soit en préparation commerciale conditionnée sous forme de seringues (Pulpdent®, Calasept®, Hypocal®, Calxyl®). La forme galénique la plus fréquente est l'association d'une poudre d'hydroxyde de calcium (78 %) et de sulfate de baryum (22 %) qui permet d'optimiser la radio-opacité.

Il est utilisé comme matériau de coiffage pulpaire (bien qu'actuellement le MTA lui soit préféré) ou comme antiseptique à placer dans le canal.

1 - Propriétés

Essentiel : les trois propriétés fondamentales de ce matériau (antiseptique, hémostatique et inducteur de minéralisation) reposent sur sa dissociation en ions calcium et ions hydroxyde. Cette libération d'ions OH^- lui confère un pH de 12. Cette alcalinité, obtenue après mélange de la poudre avec de l'eau distillée, lui confère des propriétés antiseptiques intéressantes.

Son utilisation a été proposée dès 1920 pour le coiffage pulpaire (Hermann, 1920) puis a été reprise dans les années 1960 (Laws, 1962).

L'effet bactéricide du matériau est lié à la causticité de l'OH^- qui provoque la destruction de la membrane cellulaire bactérienne et la dénaturation de l'ADN (Siqueira et Lopes, 1999). Cet effet a été clairement mis en évidence *in vitro* (Byström *et al.,* 1985) et *in vivo* (Sjögren *et al.,* 1991).

À cause de sa dissolution lente, il doit être laissé dans le canal au minimum 1 semaine pour en optimiser l'antisepsie (Byström *et al.,* 1985 ; Sjögren *et al.,* 1991). Toutefois, cette propriété est amoindrie par l'effet tampon exercé par les cristaux d'hydroxyapatite présents dans les copeaux et la dentine en général (Haapasalo *et al.,* 2000), et par les fluides tissulaires tels que le sang et le sérum (Portenier *et al.,* 2001).

Par ailleurs, il a été montré que certains micro-organismes, tels qu'*Enterococcus faecalis,* ou champignons, tels que *Candida albicans,* sont résistants au pouvoir bactéricide de ce matériau (Waltimo *et al.,* 1999). Evans *et al.* (2002) ont suggéré que *E. faecalis* pourrait abaisser le pH du produit grâce à sa membrane qui agit comme une puissante pompe à protons. Une autre cause de résistance de cette bactérie, en particulier dans les cas de retraitement, serait son aptitude à se développer dans les anfractuosités anatomiques et les canalicules dentinaires (Gomes *et al.,* 1996).

Cette résistance particulière a alimenté la polémique sur l'utilité de l'hydroxyde de calcium dans le traitement des échecs endodontiques qui seraient essentiellement dus à *E. faecalis.*

Pour Schröder (1985), l'hydroxyde de calcium provoque une nécrose tissulaire superficielle mais sa lente et faible dissolution va limiter sa diffusion à la surface des tissus concernés, soit à 1,5 mm. Cette causticité facilite grandement l'hémostase et participe à la formation de tissu minéralisé, mais elle peut aussi être à l'origine de lésions nerveuses (Boiesen et Brodin, 1991).

Sur le plan biochimique, la forte alcalinité de l'hydroxyde de calcium inhibe aussi l'action ostéolytique engendrée par les lipopolysaccharides (LPS) bactériens en les hydrolysant (Safavi et Nichols, 1994), diminuant ainsi les phénomènes de résorption osseuse associés au processus inflammatoires. Le mécanisme impliqué dans l'induction et la formation de tissu minéralisé par l'hydroxyde de calcium est encore incertain. Il repose apparemment sur l'alcalinité mais aussi sur la diffusion de Ca^{++}. Il en résulterait une action sur l'activation des macrophages et la neutralisation des acides produits par les ostéoclastes en formant des complexes phosphocalciques. La libération de protéines matricielles – dont certains facteurs de croissance, par exemple le TGF-β (*transforming growth factor-beta,* facteur de croissance transformant bêta) – de la dentine par déminéralisation partielle jouerait un rôle majeur dans le processus de cicatrisation pulpaire (Graham *et al.,* 2006).

6684_.indb 246 01/08/12 15:36

Du fait de sa solubilité, ce matériau présente une faible étanchéité, ce qui a été souvent considéré comme étant à l'origine des échecs cliniques à long terme après coiffage pulpaire (Murray *et al.,* 2003). Cette solubilité implique que, lorsqu'il n'est pas associé à un ciment, ses propriétés mécaniques sont très faibles.

Enfin, plus récemment, il a été reproché à ce matériau de diminuer considérablement la résistance mécanique à la flexion de la dentine (Grigoratos *et al.,* 2001) en cas d'exposition prolongée, et donc d'entraîner une plus grande propension à la fracture des dents traitées à l'hydroxyde de calcium par des procédures d'apexification (Andreasen *et al.,* 2002).

2 - Indications

L'hydroxyde de calcium est principalement indiqué comme matériau de coiffage pulpaire *(voir chapitre 1),* comme médicament endodontique d'interséance et de fermeture apicale (apexification).
En tant que médicament d'interséance :
- il peut être utilisé lors du traitement initial pour faciliter l'hémostase sur une pulpe enflammée, éventuellement hémorragique. Lors du traitement d'un canal infecté, il est placé dans le canal afin de compléter la désinfection pendant quelques jours ou d'arrêter un exsudat inflammatoire apical qui compromet la siccité des parois et empêche de procéder à l'obturation dans la même séance ;
- sur une communication endo-parodontale infectée (résorption ou perforation), il aide à la désinfection et séchera la plaie pour mettre les tissus en condition d'accepter le matériau d'obturation définitif. Il n'est pas nécessaire dans le cas où la perforation peut être séchée et ne présente pas d'exsudat purulent ;
- en post-traumatique, il est surtout utilisé en traitement préventif et curatif des résorptions radiculaires de type inflammatoire *(voir chapitre 17) ;*
- en interséance longue, pour une durée allant de 3 à 24 mois, il est utilisé dans les traitements d'apexification sur les dents immatures. L'objectif est d'obtenir une fermeture apicale par formation d'une barrière apicale de tissu minéralisé et de rendre ainsi possible l'obturation canalaire.

3 - Manipulation en médication d'interséance

Facile à manipuler, l'hydroxyde de calcium nécessite cependant quelques précautions d'usage en rapport avec la situation clinique.
La poudre est mélangée à de l'eau stérile pour obtenir une consistance crémeuse. La pâte obtenue est ensuite déposée dans le canal avec un Lentulo. Des pointes de papier sont utilisées à l'envers pour la tasser et éliminer les excès d'humidité. La cavité d'accès est refermée avec un ciment temporaire sur une épaisseur de 4 mm minimum.
Une fois mélangé à l'eau stérile, l'hydroxyde de calcium peut être aussi exprimé dans une compresse stérile afin d'obtenir une consistance plus dense. Il est placé dans le canal à l'aide d'un porte-amalgame stérile puis foulé avec un fouloir de compactage vertical.

Pour le traitement d'une communication endo-parodontale, l'hydroxyde de calcium est également préparé à une consistance plus épaisse et plus sèche. Après nettoyage minutieux de la zone et irrigation à l'aide de d'hypochlorite de sodium à faible concentration de (0,5 à 1,5 %), le site est séché avec des pointes de papier stériles et l'hydroxyde de calcium est placé à l'aide d'un porte-amalgame ou d'un porte-matériau stérile. Il est appliqué dans la communication, contre les tissus, avec un fouloir. Si nécessaire, un éventuel excès d'eau est enlevé avec une pointe de papier de gros diamètre, geste qui peut également servir à l'étaler.

B - Matériaux d'obturation canalaire définitifs

Actuellement, bien que les techniques de remplissage canalaire à l'aide de pâtes seulement soient encore utilisées, la plupart des techniques d'obturation endodontiques définitives par voie orthograde font appel à un cône de gutta-percha non condensé (technique mono-cône) ou condensé à froid ou à chaud et associé à un ciment de scellement canalaire.

Il existe actuellement cinq familles de pâtes/ciments de scellement :
- à base d'oxyde de zinc-eugénol ;
- à base de résine ;
- à base d'hydroxyde de calcium ;
- à base de verre ionomère ;
- à base de silicone.

Dans une tentative de remplacer la gutta-percha et les ciments de scellement, un nouveau matériau pour l'obturation définitive des canaux a été mis au point : le Resilon®.
Pâtes et ciments de scellement canalaire ont généralement la même composition de base. Ils diffèrent par quelques composants et, surtout, par leur utilisation : les pâtes sont généralement destinées à être utilisées seules ou en technique mono-cône, pour réaliser un « remplissage canalaire » à l'aide d'un bourre-pâte, alors que les ciments de scellement sont destinés à être utilisés sous la forme d'un mince film avec de la gutta condensée.
Le ciment de scellement, utilisé sous la forme d'un mince film, sert :
- à assurer un joint entre la gutta-percha et les parois canalaires ;
- à combler les vides au sein de la masse de gutta-percha ;
- à participer à l'obturation du réseau canalaire (canaux latéraux, isthmes, canaux accessoires...).

1 - Gutta-percha

a - Composition

La gutta-percha est un produit naturel issu d'arbres de Malaisie ou d'Amérique du Sud, de la famille des *Sopotaceæ* : Palaquium oblongifolia ou *Pallaquia gutta*. Les feuilles des arbres sont broyées et bouillies afin de récupérer la gomme de gutta-percha. C'est une molécule à haut poids moléculaire :

6684_.indb 247 01/08/12 15:36

un poly-isoprénoïde, comme le caoutchouc (qui en est son isomère cis) mais elle est moins élastique que lui. C'est un matériau isolant, non résorbable et biocompatible.
La gutta-percha a été préconisée en endodontie depuis 1867 par Bowman. La composition des spécialités endodontiques est variable suivant les fabricants. La gutta-percha intervient dans 20 à 25 % du produit fini, l'oxyde de zinc dans 60 à 65 %, le sulfate de baryum dans 11 % environ et, enfin, la colophane, la cire et les colorants dans 4 %.
La gutta-percha dentaire est malléable et plastique, et peut être déformée à froid, mais c'est en la réchauffant et en la compactant que l'on exploite au mieux ses propriétés, en la « moulant » à l'intérieur du système canalaire (Schilder, 1967).

La qualité d'un cône dépend des proportions relatives d'oxyde de zinc et de gutta-percha. Plus la proportion de gutta-percha augmente, moins le cône est malléable et plus il est dur ; il est peu thermoplastifiable.

b - Propriétés

Remarque : la gutta-percha est disponible sous deux formes ; la forme β qui compose les cônes et la forme α qui compose les bâtonnets à chauffer et qui est destinée à être injectée dans le canal.

La forme α recouvre aussi les tuteurs en plastique (Thermafil®) qui seront également chauffés à 64 °C avant d'être placés dans les canaux. La forme β peut également être chauffée pour être plastifiée, mais cela à plus haute température (environ 180 à 200 °C) que la forme α, et elle sera moins fluide. À température ambiante, la forme α est en général rigide et la forme β flexible et souple mais très peu élastique. La gutta-percha est donc liquéfiable entre 60 et 200 °C. C'est cette gamme de températures qui est utilisée dans les différentes techniques d'obturation qui plastifient/liquéfient la gutta-percha à chaud. Lorsqu'elle est ainsi chauffée, la gutta-percha subit une expansion volumétrique puis une contraction au refroidissement qui doit être compensée par un compactage ou par un maintien de pression afin d'éviter la perte d'adhésion entre elle et la paroi (Schilder *et al.,* 1985). Elle est soluble dans le chloroforme, l'eucalyptol, les essences d'agrumes, le tétrachloréthylène et le xylène. Cette solubilité, responsable d'un ramollissement et d'une liquéfaction du matériau, peut être mise à profit dans certaines techniques d'obturation (voir plus loin la technique du cône moulé). Mais elle subit aussi une rétraction lors de l'évaporation du solvant préjudiciable à l'étanchéité.
La gutta-percha n'adhère pas au canal, et ce qu'elle soit utilisée à froid ou réchauffée. L'adjonction d'un ciment pour compléter le joint est impérative mais crée ainsi une nouvelle interface gutta-percha/ciment qui s'ajoute à l'interface dentine/ciment. Afin d'éviter la dissolution du ciment, qui constitue le point faible de l'obturation, et de limiter l'effet des ciments se contractant à la prise, la quantité de ciment et donc le joint doivent être les plus fins possible.

Important ! Il est donc impératif de compacter la gutta-percha pour limiter l'épaisseur du joint et optimiser le scellement.

La gutta-percha ne présente pas ou peu de toxicité et celle-ci est variable en fonction des marques ~~(Geurtsen et Leyhausen, 1997 ; Dahl, 2005)~~. Les études par implantation ont montré des résultats variables, avec une absence de réaction ou l'induction de réactions inflammatoires chroniques, en fonction des marques de gutta-percha testées (Geurtsen et Leyhausen, 1997 ; Dahl, 2005).
Un seul cas d'allergie est décrit dans la littérature médicale chez un patient qui présentait déjà une allergie au latex (Boxer *et al.,* 1994). Eu égard à l'origine végétale très voisine des deux produits, la question de possibles allergies croisées a été recherchée sans pouvoir être démontrée (Hamann *et al.,* 2002).
La gutta n'est pas résorbable et une réaction antigène-anticorps peut intervenir si les fragments sont considérés par l'organisme comme un corps étranger (Serene *et al.,* 1988).
Chez le cobaye, seules de petites particules de gutta-percha (50-100 µm) semblent influencer l'apparition d'une réaction inflammatoire à cellules géantes qui évoque une réaction à corps étranger (Sjögren *et al.,* 1995).
Enfin, la gutta-percha a des propriétés antimicrobiennes dues certainement à l'oxyde de zinc (ZnO) (Moorer et Genet, 1982).
La radio-opacité de la gutta-percha est de 6,1 à 8,8 mm d'aluminium, ce qui est suffisant pour une bonne visibilité radiographique (Shah *et al.,* 1996).

c - Présentations commerciales

1 - Gutta-percha sous la forme de cônes

Différents types de cônes de gutta sont disponibles :
- cônes ISO, avec des diamètres de 10 à 140 en conicité 2 % ;
- cônes non standardisés avec une pointe fine et des conicités différentes (extra-fine, fine-fine, fine, medium-fine, fine-medium, medium, medium-large, large, extra-large) ;
- cônes de conicité accentuée, présentant des diamètres ISO mais des conicités 4 %, 6 % ou plus (Greater Taper, Roeko ; 4 % et 6 %, Dentsply-Maillefer) ;
- cônes « systèmes », correspondant par leur diamètre et leur conicité aux dernières limes de mise en forme apicale d'un système de mise en forme (cônes F1 à F5 pour ProTaper par exemple).

Pour une même dénomination, les compositions, les diamètres et les conicités varient énormément d'un fabricant à l'autre.
De même, pour un même fabricant et pour un même lot, la norme ISO impose une tolérance de plus ou moins de 5/100 mm. Ainsi, une boîte de cônes de gutta de diamètre 30 peut contenir des cônes dont les diamètres varient de 25 à 35, dans le respect de la norme ISO. C'est pour cette raison qu'il est illusoire de penser qu'un cône d'un certain diamètre s'adaptera automatiquement à la mise en forme réalisée avec une lime du même diamètre et, avant toute obturation, un ajustage du cône doit être réalisé.

6684_.indb 248 01/08/12 15:36

2 - Gutta-percha sur tuteur

La gutta-percha est aussi utilisée sur des tuteurs en plastique de 4 % de conicité et du diamètre 20 au diamètre 140 (Thermafil®) ou bien sur des tuteurs adaptés aux limes des systèmes de mise en forme (ProTaper Obturators® ou WaveOne Obturators®).

3 - Gutta-percha en bâtonnets et en réservoir

Dans les systèmes de gutta injectables, la gutta est fournie sous la forme de bâtonnets, (pour les systèmes en forme de pistolet), alors que celle utilisée dans les systèmes plus récents est disponible dans des réservoirs métalliques munis d'une aiguille.

Toutes ces présentations doivent être stockées dans l'obscurité et au froid sous peine d'accélérer le vieillissement de la gutta qui la rend dure et cassante par cristallisation, en particulier les cônes.

Les cônes de gutta-percha ne sont pas stériles et doivent être désinfectés juste avant l'utilisation par immersion dans de l'hypochlorite de sodium à 5,25 % durant quelques minutes (Siqueira *et al.,* 1998 ; Cardoso *et al.,* 1999).

2 - Ciments et pâtes oxyde de zinc-eugénol

Les pâtes et ciments à l'oxyde de zinc-eugénol font partie des ciments les plus anciens et qui ont été les plus utilisés soit seuls, pour réaliser un remplissage canalaire, soit en association avec des cônes de résine, d'argent ou de gutta-percha.

À l'heure actuelle, les techniques recommandées sont celles utilisant un ciment de scellement avec des cônes de gutta condensés à froid ou à chaud, avec les techniques utilisant la gutta-percha sur tuteurs (Thermafil® ou Herofill®), ainsi qu'avec la gutta-percha préchauffée, injectée dans le canal.

~~Comme ces ciments ont accompagné durant de nombreuses années les obturations à l'aide de cônes d'argent, il est parfois possible de les déposer en utilisant un solvant pour réaliser un passage latéral.~~

Les ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol répondent généralement à deux formules, celle de Rickert et celle de Grossman.

Dans

~~Selon~~ la formule de Rickert, la poudre est composée de :

- 40 à 45 % d'oxyde de zinc (masse) ;
- 25 à 30 % d'argent (radio-opacité) ;
- 16 % de résine (colophane) (stabilité dimensionnelle/adhésion) ;
- 12 % de di-iodothymol (consistance, fluidité et légèrement antiseptique).

Le liquide est composé d'eugénol (80 %) et de baume du Canada.

Après mélange, le temps de prise complet est de 24 heures à 37 °C.

Le ciment de scellement le plus ancien et le plus représentatif de cette famille est le Pulp Canal Sealer® (SybronEndo). Le Sealite® Regular (Pierre Rolland) a une formulation identique bien que les grains de poudre soient plus fins, ce qui lui confère un comportement différent.

Dans certains ciments, d'autres composants ont été rajoutés à la formule de Rickert initiale :

- une résine acide dimérique qui ralentit le temps de prise : Pulp Canal Sealer® EWT (SybronEndo) :
- de l'énoxolone dans le Sealite® Ultra (Pierre Rolland), l'Endospad® (Dentsply), l'Endobtur® (Septodont) et l'Obtural® (ATO Zizine).

La formule de Grossman se distingue par l'absence de grains d'argent. Le liquide étant de l'eugénol, la poudre est composée de :

- 42 % d'oxyde de zinc (masse) ;
- 27 % de résine (stabilité dimensionnelle/adhésion) ;
- 15 % de carbonate de bismuth (temps de prise) ;
- 13 % de sulfate de baryum (radio-opacité) ;
- 1 % de borate de sodium (temps de prise).

Au niveau des pâtes à base d'oxyde de zinc, dans la quasi-totalité des formulations, un antiseptique (polyoxyméthylène, parachlorophénol) et/ou un anti-inflammatoire (dexaméthasone, énoxolone, hydrocortisone, prednisolone) ont été rajoutés à la formule de base. C'est le cas de pâtes d'obturation telles que le Cortisomol® (Pierre Rolland), l'Endométhasone® et l'Endométhasone N® (Septodont), le Propylor® (Dentsply) et le Pulpispad® (Dentsply).

Les antiseptiques ont pour but de compenser des défauts d'asepsie et d'antisepsie résultant d'une mise en forme et d'une irrigation insuffisantes.

Les anti-inflammatoires, quant à eux, ont pour but de diminuer les douleurs postopératoires engendrées par l'acte endodontique et, surtout, par l'agressivité des antiseptiques.

L'utilité du rajout de ces produits antiseptiques et anti-inflammatoires dans la formulation de ces matériaux est discutable puisque aucune étude n'a prouvé leur supériorité par rapport aux matériaux qui en sont exempts.

Les effets néfastes de composants tels que le polyoxyméthylène ou le parachlorophénol sont potentialisés, d'une part, par la solubilité des ciments oxyde de zinc-eugénol auxquels ils sont associés (Kontakiotis *et al.,* 1997) et, d'autre part, par leur mise en place dans le canal avec un Lentulo dont la dynamique rotative propulse le ciment de manière incontrôlable.

En ce qui concerne les propriétés physiques et biologiques des matériaux à base d'oxyde de zinc-eugénol, la réaction de prise de ces derniers est accélérée par la chaleur. C'est pour cette raison que certaines formulations présentent un adjuvant pour allonger le temps de travail et permettre leur mise en place correcte (version EWT – *extended working time* – du Pulp Canal Sealer®).

Au niveau de l'étanchéité, les résultats comparés à ceux des autres ciments sont en général corrects (Pommel *et al.,* 2003).

Comme tous les ciments, ceux avec oxyde de zinc subissent une rétraction à la prise et, malgré la présence de colophane, ils sont solubles en libérant de l'eugénol et des ions Zn. Ce phénomène, bénéfique sur le plan antibactérien, est respon-

6684_.indb 249 01/08/12 15:36

sable d'une perte d'étanchéité à long terme et est proportionnel à l'épaisseur de ciment (Kontakiotis *et al.,* 1997). Cela plaide en défaveur de l'utilisation d'une masse importante de pâte lors de l'obturation et en faveur d'une obturation à la gutta condensée avec un joint de ciment le plus faible possible.

L'eugénol est très utilisé en pharmacie et en odontologie, notamment pour ses propriétés antiseptiques et analgésiques (Hume, 1986).
Les ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol relarguent de l'eugénol qui se retrouve à l'état libre au contact des tissus. L'effet de l'eugénol libre sur les tissus diffère en fonction de sa concentration.

Au niveau cellulaire, cet eugénol libre est toxique à concentration élevée et a des effets néfastes sur les cultures de fibroblastes et d'ostéoblastes (Ho *et al.,* 2006 ; Lee *et al.,* 2007), mais il semble relativement bien supporté par les tissus (Kolokouris *et al.,* 1998 ; Holland, 1994).
À de faibles concentrations, l'eugénol est anti-inflammatoire et sédatif (Markowitz *et al.,* 1992).
Le relargage d'eugénol ainsi que la présence d'oxyde de zinc, de colophane et de thymol confèrent aussi à ces ciments un pouvoir bactéricide certain (Hume, 1986 ; Heling et Chandler, 1996 ; Saleh *et al.,* 2004). De plus ils limiteraient la pénétration des toxines bactériennes (Williamson *et al.,* 2005) sans la prévenir totalement (Trope *et al.,* 1995) ni éviter la pénétration des bactéries elles-mêmes (Chailertvanitkul *et al.,* 1996).
Lorsqu'ils sont implantés chez l'animal, les ciments tels que le *Pulp Canal Sealer*® ou le *Sealite Regular*® (sans adjonction d'anti-inflammatoire ou d'antiseptique) montrent une inflammation de courte durée. L'inflammation diminue avec le temps (Economides *et al.,* 1995) et, s'il est noté des réactions inflammatoires légères à modérées au bout de 4 semaines, la cicatrisation à 12 semaines montre soit des zones de contact direct entre l'os et le ciment, soit une légère couche d'interposition fibreuse dépourvue de cellules inflammatoires (Pertot *et al.,* 1992a et b).
Lorsqu'ils sont testés sur des animaux pour la réalisation de traitements endodontiques orthogrades, les ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol montrent une bonne cicatrisation apicale (Leonardo *et al.,* 1999).
L'eugénol peut être responsable de réactions allergiques (Barkin *et al.,* 1984 ; Silvestre *et al.,* 2005) et agir comme un allergène de contact en produisant une réaction d'hypersensibilité retardée au niveau local pour les patients ou pour le personnel soignant (Kanerva *et al.,* 1998).
L'eugénol est également neurotoxique (Holland, 1994 ; Kozam, 1977) mais, aux concentrations utilisées, son effet serait réversible (Brodin, 1988).
Ces ciments peuvent donc influencer la réponse immunitaire de l'hôte en la stimulant ou en l'inhibant (Bratel *et al.,* 1998) et entraîner des réactions inflammatoires (Holland, 1994).

Remarque : sur le plan clinique, ils ont l'avantage de posséder des solvants utiles à leur désobturation en cas de réintervention. Il s'agit des essences d'agrume, du tétrachloréthylène, de l'acétate d'éthyle et, à un degré moindre, de l'eucalyptol.

La radio-opacité des ciments oxyde de zinc est 5,16 à 7,97 mm d'aluminium, ce qui est suffisant pour les contrôles (Shah *et al.,* 1996).
Au niveau de leur utilisation clinique, le ciment est malaxé extemporanément en incorporant progressivement la poudre au liquide sur une plaque de verre stérile. Sa consistance doit être crémeuse et permettre de l'étirer sur 1 cm environ. Un ciment trop liquide est plus soluble dans le temps, aboutissant à une perte d'étanchéité, et est plus toxique par un relargage important d'eugénol.

3 - Ciments résineux

~~Deux types de matériaux sont à distinguer : les ciments de scellement et les pâtes.~~
Les ciments de scellement *(sealers),* sous la forme pâte-pâte, sont destinés à être utilisés en mince film avec des techniques de condensation de gutta, à l'instar de leurs homologues de la famille des oxydes de zinc-eugénol.
Ils sont à base de résine époxy (AH+ et AH+ Jet, Dentsply ; TopSeal, Dentsply Maillefer) ou de résine méthacrylate (EndoREZ®, Ultradent).
Ces ciments ont, d'après Orstavik (2005), été mis au point en Suisse il y a 50 ans par Schröder.
Les pâtes résineuses, sous la forme poudre-liquide, sont destinées à être utilisées en grande quantité dans le canal à l'aide d'un bourre-pâte (Obturation Spad, Dentsply ; Forfénan, Endoplast et Méthode Z, groupe Septodont).
La poudre contient de l'énoxolone et du sulfate de baryum.
Le liquide est composé de 2 liquides différents à mélanger extemporanément : le liquide de traitement qui contient du paraformaldéhyde et des excipients, et le liquide durcissant qui est composé de résorcinol, d'acide chlorhydrique et d'excipients.

a - Propriétés physiques et biologiques des ciments de scellement résineux

Les ciments de scellement à base de résine époxy possèdent de bonnes propriétés mécaniques et d'adhérence, une bonne étanchéité et une excellente résistance à la résorption.
Ils libèrent peu de monomères mais peuvent montrer une toxicité initiale (Huang *et al.,* 2002 ; Bouillaguet *et al.,* 2006).
Leur étanchéité est parmi les meilleures dans la plupart des études (Pommel *et al.,* 2003) mais semble diminuer avec le temps et n'est pas influencée par l'épaisseur du matériau (Kontakiotis *et al.,* 1997).
Ils présentent une bonne biocompatibilité (Leonardo *et al.,* 1999). Implantés sous la peau, les muscles et l'os d'animaux de laboratoire, ils induisent une inflammation initiale qui diminue avec le temps et aucune réaction n'est visible au bout de 3 mois (Schmalz, 2003 ; Leyhausen *et al.,* 1999).

6684_.indb 250 01/08/12 15:36

Sur le plan de la génotoxicité, le bisphénol-A-diglycidyl éther ne semble pas présenter de risque cancérigène chez l'homme aux dosages utilisés et après la prise (Dahl, 2005), mais comme le personnel du cabinet peut être en contact fréquent avec les excès de cette substance, il est recommandé d'en éviter le contact direct avec la peau (Schmalz, 2003). Les ciments de scellement résineux diminuent également la conduction nerveuse comme les oxydes de zinc-eugénol et de manière réversible (Brodin *et al.,* 1982). Enfin, ils ont un effet antibactérien important et en profondeur des canalicules dentinaires (Orstavik, 1988).

b - Propriétés physiques et biologiques des pâtes résineuses

L'association de résorcinol et de formol a pour vocation de momifier les tissus pulpaires résiduels et de placer un antiseptique permanent dans l'endodonte (Wu et Wang, 1986). La mise en forme n'est pas utile (Schwandt et Gound, 2003) et la pâte est placée à l'aide d'un Lentulo. Après sa prise, il ne possède pas de solvant ce qui compromet la réintervention (Vranas *et al.,* 2003). Son surnom, *Russian-red,* provient de la coloration brun-rouge qu'il induit dans les dents et du fait de son utilisation intensive dans les pays de l'Est (Matthews, 2000).

Ces pâtes contiennent du formaldéhyde. Elles sont allergènes (Braun *et al.,* 2003), cytotoxiques (Geursten et Leyhausen, 1997), génotoxiques (Ersev *et al.,* 1999) et neurotoxiques irréversibles (Brodin *et al.,* 1982). Elles génèrent des paresthésies irréversibles rapportées dans plusieurs études (Orstavik *et al.,* 1983 ; LaBanc et Epker 1984).

En juin 2004, le formaldéhyde a été classé comme « cancérigène certain » par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), qui dépend de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Jusqu'alors, il n'était considéré que comme « cancérigène probable ». Il est à l'origine de cancers de la cavité buccale, des fosses nasales et des sinus, et son implication dans les leucémies est jugée quasi certaine.
Malgré les faibles quantités théoriquement utilisées pour l'obturation des canaux en endodontie, des cas d'urticaire et de réactions allergiques fortes allant jusqu'à l'œdème de Quincke, survenant dans les heures suivant l'introduction de la pâte dans les canaux, sont rapportés dans la littérature (Fanibunda, 1984 ; Braun *et al.,* 2003).
Pour l'Union européenne, cette substance active est interdite par la décision 2007/442/CE à la suite de l'examen relatif à l'inscription à l'annexe I de la directive 91/414/CEE.
Pour la France, cette substance active n'est pas autorisée dans la composition de préparations bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché. Les produits contenant du formaldéhyde ont un délai à la distribution fixé au 30 juin 2008 et un délai à l'utilisation fixé au 20 décembre 2008, par l'avis paru au *Journal officiel* du 31 octobre 2007.
Malheureusement, contrairement aux médicaments, les produits et matériaux employés en dentisterie ne sont pas soumis à une autorisation de mise sur le marché, ce qui explique qu'ils échappent aux réglementations européenne et française citées.
Le diméthylformamide possède une très faible activité solvante sur les composés phénol-formol, ce qui rend la reprise de traitement extrêmement difficile et hasardeuse.

Important ! Au niveau clinique, les ciments de scellement à base de résine doivent être utilisés en tant que ciment associé à de la gutta et en aucun cas en tant que pâte d'obturation en remplissage canalaire, car leur inconvénient principal est leur insolubilité dans les solvants en cas de nécessité de retraitement.
Les pâtes résineuses sont, quand à elles, totalement contre-indiquées.

4 - Ciments à base d'hydroxyde de calcium

Ces ciments sont disponibles en général sous forme pâte-pâte :
- le catalyseur contient une résine obtenue à partir de l'acide salicylique (polyméthylène méthyl salicylate) et des adjuvants (dioxyde de silicone, trioxyde de bismuth) ;
- la base contient de l'oxyde de calcium et/ou de l'hydroxyde de calcium, de l'oxyde de zinc et des adjuvants (résine, dioxyde de silicone).

Les plus connus sont l'Apexit® (Vivadent), le Sealapex® (SybronEndo) et le CRCS® (Hygenic).
Certaines formulations contiennent en plus, l'énoxolone et de la méthénamine (Obtuseal® ou Acroseal®, groupe Septodont).
Ces ciments de scellement ont été élaborés sur la base des propriétés connues de l'hydroxyde de calcium.
Leur réaction de prise aboutit à un hydroxyde de calcium pris dans une matrice résineuse. Le ciment libère des ions Ca^{++} et des ions OH^- censés augmenter le pH des tissus péri-apicaux. De plus, le calcium est censé favoriser la cicatrisation apicale par la formation de néocément et exercer une action antiseptique.
La libération des ions OH^- ne modifie pas le pH au niveau du cément, malgré un pH alcalin mesuré au niveau de la surface du matériau (Huang et Kao, 1998). En effet, le pouvoir tampon de la dentine du fait des phosphates de l'hydroxyapatite limite la diffusion des ions H^+ et OH^- (Camps et Pashley, 2000).
L'inconvénient majeur de ces ciments est leur dissolution dans les fluides tissulaires (Hovland et Dumsha, 1985).

Remarque : au niveau clinique, les taux de succès obtenus avec ces ciments ne sont pas plus importants que ceux obtenus avec les ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol (Waltimo *et al.*, 2001).

5 - Ciments à base de verre ionomère

La poudre contient un fluoro-alumino-silicate de calcium ainsi qu'un radio-opacifiant. Le liquide est un acide polycarboxylique.

6684_.indb 251 01/08/12 15:36

Les ciments à base de verre ionomère ont comme avantage théorique leur adhésion spontanée à la dentine radiculaire.
Ils présentent une désintégration et une solubilité importantes, dont la conséquence est une perte d'étanchéité (Carvalho-Junior *et al.,* 2003). Leur sensibilité à l'humidité constitue un inconvénient majeur.
La libération de fluor leur confère un effet bactéricide immédiat qui diminue avec le temps (Shalhav *et al.,* 1997).
Ils semblent très toxiques au moment du mélange mais cette toxicité diminue et disparaît avec la prise (Schmalz *et al.,* 1994 ; Geurtsen et Leyhausen, 1997 ; Dahl, 2005).
L'implantation chez l'animal met en évidence une bonne biocompatibilité (Kolokouris *et al.,* 1996).
Au niveau clinique, l'idée initiale lors de la mise au point de ces ciments était d'exploiter l'adhésion spontanée des ciments verre ionomère à la dentine afin d'assurer une excellente étanchéité apicale. Or, il s'avère que leurs propriétés ne sont pas celles espérées et que si le ciment adhère à la dentine, il ne présente aucune adhésion à la gutta-percha.

6 - Ciments à base de silicone

Ciment de scellement à base de polydiméthylsiloxane (RoekoSeal, Coltène/Whaledent), ce matériau est préconisé par le fabricant en tant que ciment de scellement en condensation de gutta.
La version mélangée avec de la gutta en poudre (GuttaFlow, Coltène/Whaledent) est préconisée comme pâte d'obturation canalaire en technique mono-cône.
Les tests d'étanchéité montrent que le RSA® utilisé en condensation de gutta donne une étanchéité égale à celle des ciments à base de résine (AH^+) ou d'oxyde de zinc-eugénol (Lucena-Martín *et al.,* 2002. Özok *et al.,* 2008). En revanche, le GuttaFlow en technique mono-cône semble donner une moins bonne étanchéité (Özok *et al.,* 2008).

Ces ciments présentent une cytotoxicité faible sur cultures cellulaires (Miletić *et al.,* 2005 ; Bouillaguet *et al.,* 2006) et une bonne biocompatibilité en implantation chez l'animal (Gençoglu *et al.,* 2003).

Une étude clinique comparant les cicatrisations apicales après mises en forme canalaire identiques et obturation à la gutta en utilisant soit un ciment de Grossman ou du RSA® n'a pas permis de mettre en évidence une différence entre les deux ciments (Huumonen *et al.,* 2003).

7 - Resilon®

Ce concept, apparu sur le marché français en 2005, utilise les propriétés d'adhésion dentinaire des résines polyméthacrylates afin de réaliser une « obturation monobloc » qui :
- permettrait l'obtention d'une étanchéité optimale sur chaque interface (*dentine/ciment de scellement, ciment de scellement/cône*) (Shipper *et al.,* 2004) ;
- assurerait une consolidation biomécanique de la dent (Teixeira *et al.,* 2004) ;
- présenterait une parfaite compatibilité avec les matériaux de restauration coronaire collés (Shipper *et al.,* 2004).

Le système est fondé sur l'utilisation du Resilon® comme matériau principal d'obturation (en remplacement de la gutta) couplé à un adhésif, l'Epiphany® (qui joue le rôle du ciment de scellement). Il comprend :
- l'Epiphany® (Pentron Clinical Technologies), qui est utilisé comme un système adhésif automordançant à deux temps (sixième génération) comprenant un *primer* et un ciment de scellement ;
- le *primer* acide, qui contient un monomère d'acide sulfonique, de l'HEMA (hydroxy-éthylène méthacrylate), de l'eau et un déclencheur de polymérisation. Il est d'abord appliqué sur la surface dentinaire intracanalaire. Il pénètre à travers la boue dentinaire et déminéralise la couche superficielle de la dentine. Puis il est séché à l'air afin d'éliminer le solvant et de permettre l'application du ciment de scellement ;
- le *sealer* Epiphany®, qui est une résine composite autopolymérisable et photopolymérisable qui contient du bis-GMA (glycidyl méthacrylate), de l'UDMA (uréthane diméthacrylate) et des méthacrylates di-fonctionnels. Les charges, qui représentent 70 % du poids, sont de l'hydroxyde de calcium, du sulfate de baryum (radio-opacité), du verre de baryum, de l'oxychloride de bismuth et de la silice. Il est appliqué sur les parois canalaires et polymérisé ;
- le Resilon® (RealSeal™, SybronEndo) sous forme de cône et de bâtonnet, qui est un polyester thermoplastique contenant des verres bioactifs, de l'oxychloride de bismuth et du sulfate de baryum. Les charges représentent 65 % du poids. Sa thermoplasticité est attribuée à l'incorporation de polycaprolactone, un polyester aliphatique semi-cristallin, synthétique et biodégradable. Son pouvoir adhésif est dû à l'inclusion dans la résine de groupes méthacryloxy di-fonctionnels, capables de se coupler aux adhésifs dentinaires ou aux ciments de scellement à base de résine (Shipper *et al.,* 2004 ; Teixeira *et al.,* 2004).

Le Resilon® est disponible en cône de 2, 4 et 6 % et en bâtonnets destinés aux pistolets d'injection, son utilisation est la même que pour les techniques de condensation de gutta à froid ou à chaud.
Les études *in vitro* sur l'étanchéité sont nombreuses et donnent des résultats contradictoires : certaines ont montré une étanchéité supérieure du Resilon® (Shipper *et al.,* 2004 ; Skidmore *et al.,* 2006 ; Tunga et Bodrumlu, 2006), alors que d'autres ont montré une étanchéité identique ou même inférieure à celle de la gutta-percha associée à un ciment de scellement (Tay *et al.,* 2005a et 2005b ; Onay *et al.,* 2006 ; Shemesh *et al.,* 2006 ; Biggs *et al.,* 2006 ; Paqué et Sirtes, 2007).
Le matériau serait susceptible de se dégrader par hydrolyse alcaline (Tay *et al.,* 2005a) et par hydrolyse enzymatique (Tay *et al.,* 2005b), ce qui entraînerait une perte d'étanchéité dans le temps expliquant en partie sa mauvaise étanchéité.
Pour d'autres auteurs, la solubilité importante de l'adhésif (Epiphany®) utilisé comme ciment de scellement (Versiani

6684_.indb 252 01/08/12 15:36

et al., 2006 ; Paqué et Sirtes, 2007) serait responsable des résultats négatifs du Resilon®.
Trope (2006) évoque des biais et des erreurs de manipulation et d'interprétation dans toutes ces études.
Le matériau est approuvé par la Food and Drug Administration.
Sa cytocompatibilité semble correcte : il est non mutagène et ne provoque pas de réaction cutanée.

Important ! Les études sur la toxicité montrent une excellente cytocompatibilité du Resilon® mais une toxicité initiale importante de l'adhésif qui sert de ciment de scellement (Epiphany®) (Bouillaguet *et al.*, 2006 ; Key *et al.*, 2006 ; Susini *et al.*, 2006). Le Resilon® ne montre aucune activité antiseptique, contrairement aux autres ciments endodontiques habituellement utilisés (Melker *et al.*, 2006).

Une meilleure santé péri-apicale a été observée sur les dents de chiens dont les cavités d'accès restaient exposées à l'environnement oral après obturation au Resilon®/Epiphany® par rapport à celles obturée à la gutta-percha/ciment résine. Les auteurs concluent que ces résultats pourraient provenir d'une meilleure étanchéité du Resilon® qui empêcherait l'infiltration bactérienne (Shipper *et al.,* 2005).
Cette interprétation n'a pas été confirmée par une étude *in vitro* qui n'a pu démontrer une meilleure étanchéité du Resilon® à l'infiltration coronaire par rapport à la gutta (Pitout *et al.,* 2006).
Le matériau peut être désobturé aisément (de Oliveira *et al.,* 2006).
Par ailleurs, une étude clinique en pratique généraliste, sans technique standardisée mais avec obturation au Resilon®, montre des résultats équivalents à ceux déjà publiés en université et utilisant la gutta-percha (Conner *et al.,* 2007).
Quant à l'éventuel renforcement de la structure radiculaire par l'obturation monobloc, les différentes études n'ont pas trouvé une augmentation de la résistance à la fracture des racines lorsqu'elles étaient obturées au Resilon® ou à la gutta-percha condensée et ciment de scellement (Stuart *et al.,* 2006 ; Sagsen *et al.,* 2007).

C - Autres matériaux d'obturation en endodontie

1 - Ciments minéraux

a - Mineral trioxide aggregate (ProRoot MTA®, Dentsply Maillefer) et MTA Angelus®

1 - Composition

Ce matériau, initialement conçu pour une utilisation en chirurgie endodontique et connu sous le nom de MTA *(mineral trioxide aggregate),* a été commercialisé en 1998 sous le nom de ProRoot MTA® (Dentsply Maillefer). Il a généré de loin le plus grand nombre de publications depuis 1993 (Lee *et al.,* 1993) : plus de 765 études ont porté sur sa composition, ses propriétés mécaniques, son étanchéité (dans les perforations latérales, du plancher, en obturation *a retro*), sa cytocompatibilité et sa cytotoxicité, sa biocompatibilité par implantation ou en obturation *a retro* chez les animaux, son utilisation pour le coiffage pulpaire direct et en bouchon apical pour l'apexification des dents immatures. De nombreuses publications cliniques sur ses différentes applications sont également disponibles.
En termes de biocompatibilité, il présente le plus grand nombre de publications par rapport aux autres matériaux utilisés en endodontie (65 publications, contre 41 pour la gutta-percha et 20 pour les ciments de scellement).
Il est composé de 50 à 75 % d'oxyde de calcium et 15 à 25 % de dioxyde de silicium : silicate tricalcique, silicate dicalcique, aluminate tricalcique, aluminate ferrique tricalcique. De l'oxyde de bismuth est rajouté pour la radio-opacité. Trois parts de poudre de ce ciment doivent être mélangées à une part d'eau stérile pour obtenir un gel colloïdal qui effectue sa prise en 2 h 45 min (Torabinejad *et al.,* 1995a). Le MTA est disponible sous deux formes : le MTA gris (MTAG), commercialisé en premier, et le MTA blanc (MTAB). Ce dernier ne posséderait pas d'aluminate ferrique (Camilleri *et al.,* 2005).
Un autre ciment minéral de composition très semblable a été plus récemment commercialisé : le MTA Angelus® (MTAA) avec un temps de prise plus court, situé entre 14 et 15 minutes (Torabinejad et Parirokh, 2010).
Le brevet déposé en 1995 l'a classé dans les ciments ordinaires types ciment de Portland et les études ont montré une grande similitude de composition (Asgary *et al.,* 2004).

2 - Propriétés physiques et biologiques

Malgré des similitudes de composition, le ciment de Portland contient des métaux lourds et la taille variable et grossière de ses particules ne permet pas de le substituer au MTA où elles sont d'une finesse et d'une régularité constantes (Dammaschke *et al.,* 2005). La solubilité du MTA est décrite comme nulle ou faible (Shie *et al.,* 2009) mais elle augmente avec le temps (Fridland et Rosado, 2005).
Quelles que soient la méthode d'évaluation de l'étanchéité (colorant, pénétration bactérienne ou de protéine, filtration) et l'indication étudiée (scellement rétrograde, scellement de communication endo-parodontale pathologique ou iatrogène, apexification, pulpotomie ou coiffage), il montre d'excellentes aptitudes de scellement et d'étanchéité (Torabinejad *et al.,* 1993 et 1995b ; Fischer *et al.,* 1998 ; Tang *et al.,* 2002 ; Torabinejad et Parirokh, 2010), et ce à 3, 6 ou 12 mois (Wu *et al.,* 1998). La taille des particules de MTA serait, pour certains, voisine de 1,5 µm (Komabayashi et Spångberg, 2008) et donc inférieure au diamètre des canalicules dentinaires. Cela expliquerait la bonne adhésion obtenue.
Après sa prise, le module d'élasticité du MTA est de 40 MPa. Il passe à 67,3 MPa au bout de 21 jours, ce qui n'est pas significativement plus faible que les autres matériaux destinés aux mêmes usages (Torabinejad *et al.,* 1995a). Le MTA voit ses propriétés physiques augmentées lorsqu'il est maintenu en milieu humide après sa mise en place

6684_.indb 253 01/08/12 15:36

(Parirokh et Torabinejad, 2010), mais la contamination sanguine affaiblirait sa résistance à la compression (Nekoofar *et al.,* 2010).
Toutefois, le rapport poudre/liquide influencerait la solubilité du ciment : plus la quantité d'eau est importante, plus la solubilité et la porosité augmentent (Fridland et Rosado, 2005).
Il a été montré que l'hydratation du MTA produit de l'hydroxyde de calcium (Camilleri *et al.,* 2005) qui expliquerait la réponse tissulaire favorable (Holland *et al.,* 2001). Il libère des ions OH^- qui maintiennent un pH alcalin à 12,5 au bout de 3 heures (Torabinejad *et al.,* 1995a) et des ions Ca^{++} qui, en présence des phosphates tissulaires, favorisent la production d'hydroxyapatite (Duarte *et al.,* 2003 ; Sarkar *et al.,* 2005).
Ainsi, le MTA possède une activité antibactérienne envers les souches aérobies anaérobies facultatives (AAF) comme *Streptococcus faecalis* et autres streptocoques et lactobacilles ainsi qu'*Escherichia coli* mais il n'a pas d'activité sur les souches anaérobies strictes (AS) (Torabinejad *et al.,* 1995c). Cependant, il est évoqué une activité sur *C. albicans* (Al-Hezaimi *et al.,* 2005). Mais les propriétés antibactériennes et antifongiques du MTA sont très controversées, la littérature médicale donnant autant de conclusions positives que négatives, et leur effet semble dépendre de la concentration en ciment. Pour qu'il se manifeste, celle-ci doit être supérieure à 25 mg/ml (Al-Hezaimi *et al.,* 2006), mais cette concentration s'avère trop élevée et cytotoxique (Hakki *et al.,* 2009).
Les études de cytocompatibilité cellulaire montrent des résultats favorables (Torabinejad *et al.,* 1995d ; Laurent *et al.,* 2008). En général, le MTA favorise la production cellulaire de cytokine et améliore l'attachement et la croissance cellulaire à son contact (Keiser *et al.,* 2000 ; Huang *et al.,* 2005). La synthèse d'ostéocalcine, de phosphatase alcaline et d'interleukines 6 et 8 est aussi augmentée en présence de MTA (Thomson *et al.,* 2003) ainsi que l'activité de la phosphatase alcaline au niveau des fibroblastes parodontaux (Bonson *et al.,* 2004).
Le MTA n'est pas mutagène ni génotoxique (Torabinejad et Parirokh, 2010). La concentration semble jouer un rôle important (Hakki *et al.,* 2009).
Les études histologiques en coiffage pulpaire direct, aussi bien chez l'animal (Pitt Ford *et al.,* 1996 ; Asgary *et al.,* 2006a) que chez l'humain (Andelin *et al.,* 2003 ; Iwamoto *et al.,* 2006 ; Nair *et al.,* 2008), montrent que le MTA génère moins d'inflammation pulpaire et induit la formation d'un pont dentinaire plus épais et de manière plus reproductible que les autres matériaux utilisés (Simon *et al.,* 2008).
L'implantation sous-cutanée de MTA génère une importante réaction avec zones de nécrose et calcification dystrophique (Yaltirik *et al.,* 2004) tandis qu'aucune modification de la microcirculation du tissu conjonctif n'est observée (Masuda *et al.,* 2005). L'implantation intra-osseuse entraîne une faible réaction avec ostéogenèse (Torabinejad *et al.,* 1995d ; Saidon *et al.,* 2003 ; Moretton *et al.,* 2005).

Important ! Lors du traitement des perforations, les tissus parodontaux montrent une excellente cicatrisation au contact du MTA avec une absence d'inflammation et une croissance des cellules desmodontales. Une apposition de néocément est constatée au contact direct du MTA (Pitt Ford *et al.*, 1995 ; Holland *et al.*, 2001 ; Main *et al.*, 2004).

L'apposition directe de cément sur le MTA a été confirmée après son utilisation en obturation *a retro* en chirurgie endodontique (Torabinejad *et al.,* 1997 ; Regan *et al.,* 2002 ; Baek *et al.,* 2005 ; Bernabé *et al.,* 2007). Deux études récentes confirment la cémento-conduction et cémento-induction du MTA ainsi que l'ostéo-induction (Chen *et al.,* 2009 ; Hakki *et al.,* 2009).
L'apposition de néocément et une régénération du parodonte apical ont été aussi observées lors de l'utilisation du MTA en bouchon apical dans le cas de dents immatures à apex ouverts (Shabahang et Torabinejad, 2000 ; Ham *et al.,* 2005).
Les études comparant le MTA gris au MTA blanc ont montré que la taille des cristaux est 8 fois supérieure à la surface du premier que du second, mais que la présence des oxydes est identique dans les deux formes (Asgary *et al.,* 2006b). La biocompatibilité du MTA gris semble supérieure à celle du MTA blanc (Perez *et al.,* 2003). La différence d'état de surface expliquerait cette supériorité.
Mais d'autres études ont conclu à une biocompatibilité similaire à 28 jours et évoqué une biocompatibilité immédiate supérieure à la tardive, certainement expliquée par la quantité de libération d'hydroxyde de calcium plus importante dans la phase initiale d'hydratation. De plus, il a été mis en évidence que la surface de la poudre de MTA avant mélange contenait 3 fois moins de sulfure qu'après sa prise (Dammaschke *et al.,* 2005). Cette couche isolerait le matériau de l'hydratation et augmenterait son temps de prise tout en limitant la libération ultérieure d'hydroxyde de calcium.
La radio-opacité du MTA est équivalente à 7,17 mm d'aluminium (Torabinejad et Parirokh, 2010), ce qui permet de contrôler son placement et son évolution.
En général, le MTA Angelus®, outre un temps de prise plus court, montre des propriétés similaires à celles du MTA (Komabayashi et Spångberg, 2008 ; Torabinejad et Parirokh, 2010, Parirokh et Torabinejad, 2010).

3 - Manipulation

Ces ciments minéraux sont indiqués en endodontie pour réaliser les obturations rétrogrades, le scellement des communications endo-parodontales, le scellement apical en apexification, le coiffage pulpaire direct et la pulpotomie. Leur difficulté de mise en œuvre a souvent été évoquée (Asgary *et al.,* 2006a et 2006b) et de nombreuses solutions ont été proposées. Quelques remarques issues de la littérature médicale peuvent influencer le pronostic et sont nécessaires. L'inflammation tissulaire génère un milieu acide qui favorise la libération de l'oxyde de bismuth (radio-opacité) par le MTA. L'oxyde de bismuth gêne à son tour la libération de [illegible] car il affecte la prolifération tissulaire (Camilleri, 2007). L'usage

En cas de présence d'un exsudat purulent

6684_.indb 254 01/08/12 15:36

d'hydroxyde de calcium en interséance est recommandé. Durant les apexifications, pour une meilleure étanchéité bactérienne, il faut hydrater le MTA par le canal à l'aide d'une éponge humide (côté apex, l'eau tissulaire assure l'hydratation bilatérale) (Chogle *et al.,* 2007) ; l'éponge humide est ôtée au bout de 24 heures pour une meilleure résistance à la flexion du matériau (Walker *et al.,* 2006). L'épaisseur de ciment à utiliser est aussi controversée et on peut admettre que de 3 à 5 mm de matériau sont suffisants. Le MTA ne doit pas être mordancé dans les 96 heures au risque d'affaiblir encore sa résistance à la compression (Kayahan *et al.,* 2009). Ce fait est à considérer pour les restaurations corono-radiculaires fibrées et collées sur des dents traitées après perforation. De plus, la résistance à l'expulsion *(push-out test)* est aussi améliorée si le matériau a achevé sa prise en milieu humide (Gancedo-Caravia et Garcia-Barbero 2006). Il est également recommandé de protéger le MTA placé sur une perforation avec un ciment verre ionomère qui n'altérera pas ses propriétés (Nandini *et al.,* 2007). Le mordançage procure une adhésion maximale du composite sur le MTA avec l'acide orthophosphorique du système « *Total Etch* » (Tunç *et al.,* 2008). La méthode de mise en place du MTA influence ses propriétés mais aucun résultat n'est saillant concernant l'usage de fouloirs manuels par rapport aux ultrasons (Parirokh et Torabinejad, 2010).
Quant au ciment de Portland, son utilisation *in vivo* est fortement contre-indiquée (Parirokh et Torabinejad, 2010).
Il est enfin à noter que les ciments minéraux ne possèdent pas de solvant.

b - Biodentine™

Un nouveau ciment minéral de fabrication française a été mis au point, sous l'appellation Biodentine™, par le laboratoire Septodont. Sa récente mise au marché ne permet pas de présenter des études similaires aux précédents et les renseignements ci-dessous émanent du fabricant.
Les modifications portent sur le temps de prise nettement inférieur à celui du MTA, de 9 à 12 minutes, et de meilleures propriétés physiques avec une résistance à la compression de 200 MPa à 24 heures.
Initialement, ce matériau, qui prétend offrir une biocompatibilité similaire à celle du MTA, a été conçu pour les restaurations coronaires sur dents pulpées. La radio-opacité est ici obtenue avec de l'oxyde de zirconium, la poudre est voisine des précédents ciments : silicate tricalcique, silicate dicalcique, carbonate et oxyde de calcium, oxyde ferrique. Cette poudre ne contient pas d'aluminosilicate et l'eau nécessaire à la prise contient 15 % de chlorure de calcium, destiné à accélérer celle-ci, et des polymères résineux. Comme les autres ciments, il libère de l'hydroxyde de calcium et induit la formation d'hydroxyapatite à partir des phosphates de calcium dentinaires et tissulaires.
Ses propriétés sont les suivantes :
- dureté = 90 VHN *(Vickers hardness number)* à 1 mois ;
- flexion = 34,5 MPa au bout de 2 heures ;
- compression = 200 MPa au bout de 24 heures et 300 MPa au bout de 28 jours (MTA = 140 MPa au bout de 28 jours) ;
- porosité = 6 % (MTA = 22 %) ;
- radio-opacité = 3,5 mm d'aluminium.

Ces propriétés originales et améliorées reposent sur l'absence d'aluminosilicate, qui constituerait une impureté, sur la variation de taille des particules, qui optimiserait la densité, sur l'ajout de carbonate de calcium, qui représenterait une charge supplémentaire et participerait à la biocompatibilité. Comme pour tous les ciments minéraux, le rapport poudre/liquide est important. L'augmentation de liquide augmente la porosité et réduit la résistance ; la diminution de liquide altère l'homogénéité du mélange. L'ajout de polymères hydrosolubles est censé réguler le rapport. Il a été montré que l'ajout de chlorure de calcium (Cl_2Ca) au MTA augmente l'étanchéité (Bortoluzzi *et al.,* 2006). Les valeurs données ici au niveau de restaurations coronaires semblent corréler ce fait et placent le Biodentine™ comme un substitut dentinaire à utiliser sans traitement de surface préalable dans les techniques sandwichs.
La biocompatibilité du Biodentine™ a été étudiée sur des lymphocytes et des fibroblastes pulpaires humains ainsi que sur *Salmonella typhimurium.* Les résultats sont similaires à ceux du MTA (Laurent *et al.,* 2008).

D'après le fabricant, le matériau est non cytotoxique, non génotoxique, non mutagène et les tests cutanés et sous-cutanés sont exempts d'inflammation. Le Biodentine™ en coiffage pulpaire stimule l'angiogenèse et induit la formation de dentine réparatrice.

L'ensemble de ses propriétés cliniques (mise en place et prise en une séance), physiques et biologiques lui ouvrent les portes de l'endodontie pour les indications similaires à celles des précédents ciments mais les études *in vitro, in vivo* et cliniques axées sur ces indications font pour l'instant défaut par rapport au MTA qui est actuellement le ciment de référence.

2 - Ciments oxyde de zinc-eugénol renforcés à la résine (OZnR)

Ces ciments ont été initialement indiqués comme matériau de restauration provisoire. Leur composition est issue des ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol mais ils ont été modifiés afin d'en raccourcir le temps de prise, trop long, et d'en diminuer la solubilité (Oynick et Oynick, 1978). Les modifications ont porté sur le remplacement d'une partie de l'eugénol par l'acide orthoétoxybenzoïque (EBA, *ethoxy benzoic acid*) et/ou en incorporant de la résine en plus grande quantité dans la poudre.
Les deux spécialités les plus connues sont l'IRM® (Dentsply) et le Super-EBA® (Harry J. Bosworth), dont la composition est résumée dans le *tableau 12.1*.

Tableau 12.1 Composition du Super-EBA® et de l'IRM®.

	Super-EBA®	IRM®
Poudre	Oxyde de zinc : 60 % Aluminium : 34 % Résine naturelle : 6 %	Oxyde de zinc : 80 % Polyméthacrylate : 20 %
Liquide	EBA : 62,5 % Eugénol : 37,5 %	Eugénol : 99 % Acide acétique : 1 %

6684_.indb 255 01/08/12 15:36

Important ! À part l'obturation coronaire transitoire, l'indication la plus connue en endodontie concerne l'obturation des cavités rétrogrades.
En effet, ces matériaux se sont imposés comme les solutions de remplacement de choix à l'amalgame pour les obturations *a retro* en endodontie chirurgicale : ils sont plus biocompatibles, de manipulation plus facile et, surtout, non corrodables.
Dans ces situations, la surface de contact entre le matériau et les tissus est plus importante et les effets tissulaires sont exacerbés.

Par rapport à des ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol classiques, les modifications dans la composition permettraient de limiter l'hydrolyse du ciment et la libération de l'eugénol et du zinc qui sont les composés toxiques (Meryon *et al.,* 1988). Le Super-EBA® est particulièrement recommandé pour ses propriétés mécaniques et sa faible solubilité (Civjan et Brauer, 1964). La présence de fibre de collagène observée à la surface du Super-EBA® a été décrite en 1978 (Oynick et Oynick, 1978) et interprétée comme un signe de biocompatibilité.
En implantation intra-osseuse, le Super-EBA® montre une bonne biocompatibilité, avec des réactions inflammatoires légères au bout de 4 semaines, suivie à 12 semaines d'une résorption de l'inflammation avec observation soit d'une interposition fibreuse d'épaisseur variable entre l'os et le matériau, soit d'une néoformation osseuse au contact direct du matériau (Pertot *et al.,* 1997 ; Tassery *et al.,* 1997).
Le bon comportement tissulaire de ces matériaux a aussi été souligné chez le chien (Trope *et al.,* 1996).

Important ! Cliniquement, les dents obturées *a retro* avec les ciments oxyde de zinc-eugénol renforcés à la résine montrent des taux de succès de 91 % pour l'IRM®, de 95 % pour le Super-EBA® et de seulement 75 % pour l'amalgame (Dorn et Gartner, 1990). Leur utilisation pour l'obturation *a retro* de dent préparées aux ultrasons sous microscope opératoire permet d'obtenir des taux de succès de plus 96 % à court terme (Rubinstein et Kim, 1999) et d'environ 90 % à 7 ans postopératoires (Rubinstein et Kim, 2002).

Les ciments oxyde de zinc-eugénol renforcés à la résine ont une activité antibactérienne marquée (Torabinejad *et al.,* 1995c ; Eldeniz *et al.,* 2006) et les oxydes de zinc en général ont une activité antifongique (Cassanho *et al.,* 2005).
Les valeurs d'étanchéité de ces ciments, bien que convenables par rapport à d'autres matériaux, sont inférieures à celles du MTA (Fernández-Yáñez Sánchez *et al.,* 2008), y compris sur des perforations (Hashem et Hassanien, 2008).
Leur biocompatibilité semble inférieure au MTA (Fernández-Yáñez Sánchez *et al.,* 2008). La résistance à la compression est similaire à celle du MTA (Torabinejad *et al.,* 1995a). Leur étanchéité semble plus affectée par la contamination sanguine que le MTA (Torabinejad *et al.,* 1994).
Leur manipulation est décrite comme aisée, mais ils bénéficient de 50 ans d'antériorité, ce qui a contribué à l'élaboration de techniques de mise en œuvre codifiées. ~~Nul doute que les ciments minéraux montreront une aptitude similaire.~~

II - Quand et comment obturer ?

De manière générale, l'obturation canalaire peut être réalisée chaque fois que :
- le canal a été correctement mis en forme ;
- le canal peut être séché. En effet, s'il présente un suintement apical et que le séchage parfait à la longueur de travail ne peut pas être obtenu, l'obturation devra être remise à une séance ultérieure et un hydroxyde de calcium placé en interséance ;
- la dent est asymptomatique sur le plan desmodontal. Il est totalement contre-indiqué d'obturer une dent qui présente des symptômes de desmodontite apicale, sous peine d'entraîner une exacerbation des signes cliniques. En revanche, en cas de pulpite sans association desmodontale, l'obturation peut être réalisée dans la séance de la mise en forme.

Il existe une controverse sur le traitement en une ou plusieurs séances de dent présentant une LIPOE asymptomatique.
Pour certains auteurs, ces dents doivent être soignées en deux ou plusieurs séances, avec mise en place d'hydroxyde de calcium dans les canaux, afin de parfaire la désinfection canalaire (Byström *et al.,* 1985. Sjögren *et al.,* 1991 et 1997. Shuping *et al.,* 2000).
Pour d'autres, une obturation dans la séance est indiquée à partir du moment où la dent a été correctement préparée et irriguée, qu'elle est asymptomatique et que les canaux sont secs, même en présence de lésions.
La plupart des études cliniques publiées dernièrement et comparant les résultats de dents porteuses de LIPOE et traitées en une séance ou en plusieurs séances avec mise en place d'antiseptique dans les canaux ne mettent pas en évidence de taux de succès plus élevé dans l'un ou l'autre des groupes (Weiger *et al.,* 2000 ; Peters et Wesselink, 2002 ; Molander *et al.,* 2007 ; Penesis *et al.,* 2008).
Deux méta-analyses de la littérature médicale (Sathorn *et al.,* 2005 ; Figini *et al.,* 2008) et une revue de littérature exhaustive récemment publiées confortent ces résultats (Su *et al.,* 2011).
S'il existe un saignement provenant du canal, plusieurs étiologies sont possibles :
- longueur de travail trop courte sur une pulpectomie vitale ou trop longue ;
- fausse route avec communication endo-parodontale ;
- déplacement externe du *foramen*.

Si les deux premières situations sont gérables une fois diagnostiquées, il en est autrement du déplacement externe dont la seule gestion est chirurgicale avec une obturation rétrograde après résection apicale.

6684_.indb 256 01/08/12 15:36

Si la mise en forme a été correctement réalisée et que le *foramen* apical n'est pas surélargi ou trop résorbé, l'obturation canalaire se fera à l'aide d'une technique de condensation de gutta associée à un ciment de scellement.
À partir d'un diamètre apical plus large que 50, la technique du cône moulé peut être utile.

Si le diamètre apical est supérieur à 90 ou si la dent est immature, le bouchon de MTA est la solution de choix.
Après la mise en forme, le canal doit être séché pour optimiser son scellement. La siccité est obtenue par aspiration et passage de pointes de papier stériles et conformes aux dimensions du canal.

A - Sous-obturation, surextension et surobturation

Une sous-obturation désigne une obturation incomplète du système canalaire avec présence de vides. L'obturation est généralement courte à la radiographie. Elle peut néanmoins apparaître à la bonne longueur, mais sans sceller le *foramen* apical. C'est le cas lorsqu'un cône de gutta-percha sous-dimensionné par rapport au diamètre apical de la préparation est amené à la longueur de travail.
Une surextension désigne un dépassement du matériau d'obturation canalaire au-delà du *foramen* apical, avec un volume canalaire incomplètement obturé et un mauvais scellement apical. Cela résulte généralement de l'utilisation d'un Lentulo qui propulse du matériau dans les tissus péri-apicaux mais sans sceller l'apex, du manque d'ajustage du cône de gutta au niveau apical et qui a été poussé dans les tissus apicaux lors de la condensation, ou d'une obturation succédant à une manœuvre iatrogène dans le tiers apical (destruction du stop apical par surestimation de la longueur de travail, surélargissement ou transport apical avec création d'un *foramen* en forme de sablier).
Une surobturation indique un dépassement du matériau d'obturation canalaire au-delà du *foramen* apical, mais avec un volume canalaire complètement obturé et une bonne étanchéité apicale. Elle est fréquente lorsque la mise en forme est correcte, le *foramen* respecté et ~~libre~~ par utilisation de la lime de perméabilité apicale (Lambrianidis *et al.,* 2001) et la technique de compactage efficace (généralement des techniques d'obturation se fondant sur le compactage à chaud de la gutta-percha). Il s'agit généralement d'une fusée de ciment de scellement dans le ~~péri-apex~~ *(puff apical)*.
Le seul cas où une surobturation peut aboutir à un échec, malgré l'étanchéité obtenue, est celui d'une dent dont l'apex est vestibulé et où la corticale vestibulaire est absente ou très fine. Ce sont en majorité les racines vestibulaires des premières prémolaires maxillaires qui présentent ce type d'apex extra-cortical. Le ciment et/ou la gutta sont alors en contact avec le périoste et le tissu sous-muqueux, et peuvent être responsables de douleurs persistantes après l'obturation. Dans ce cas, l'élimination chirurgicale du dépassement est indiquée (Machtou, 1993).

Sous-obturation et surextension sont des sources potentielles d'échecs puisqu'elles n'assurent pas le scellement du *foramen* apical et permettent la persistance de vides propices au développement des bactéries. Elles sont la conséquence directe du non-respect des principes mécaniques de la mise en forme canalaire, des erreurs d'évaluation de la longueur de travail et du manque d'ajustage du maître cône lors de l'obturation (van Zyl *et al.,* 2005).

B - Techniques d'obturation canalaires

(tableau 12.2)

1 - Techniques utilisant de la gutta-percha

Les techniques d'obturation actuellement recommandées se fondent sur la condensation de gutta-percha, à froid ou à chaud, associée à un film de ciment de scellement canalaire.
Quelle que soit la technique d'obturation, la première étape, primordiale, consiste à choisir et à ajuster apicalement ~~le~~ cône de gutta.

a - Ajustage du maître cône et préparation du ciment

Cette étape consiste à ajuster un cône de gutta-percha non seulement à la longueur de travail mais aussi, et surtout, au diamètre apical de la préparation afin d'assurer un scellement et une étanchéité de cette zone. C'est la notion de « largeur de travail » qui vient compléter la classique longueur de travail (Jou *et al.,* 2004). Elle est réalisée par un ensemble de tests cliniques tactiles et radiographiques et le canal doit être rempli d'hypochlorite de sodium.
Les cônes utilisés sont fonction de la mise en forme réalisée et de la technique d'obturation.
Pour une mise en forme avec la technique du stop apical et une obturation en condensation latérale à froid, les cônes de gutta ISO sont indiqués.
Le cône qui sera ajusté apicalement est appelé maître cône et les cônes supplémentaires sont les « cônes accessoires ».
Un cône du même diamètre que le dernier instrument qui a travaillé à la longueur de travail est choisi. Il est inséré dans le canal et glissera jusqu'à atteindre la zone apicale. Le cône doit venir s'adapter à 0,5 mm de la longueur de travail, en friction apicale sur les 2 derniers millimètres de la préparation canalaire.
Afin de vérifier cette adaptation, le cône est légèrement poussé puis il est retiré avec des précelles. S'il présente une bonne adaptation, il résistera avant de se désinsérer d'un coup sec. Il est très important d'obtenir cette résistance au retrait, appelée *tug-back*. Elle indique que le diamètre du cône correspond à celui de la préparation apicale.

Si ce cône flotte dans le canal à la longueur, cela indique qu'il est sous-dimensionné par rapport à la mise en forme apicale. Il sera retiré et sectionné sur 1 mm, ou un cône de diamètre supérieur sera essayé.

6684_.indb 257 01/08/12 15:36

Tableau 12.2 Comparaison des avantages et inconvénients des techniques d'obturation canalaires.

Caractéristiques/techniques	Avantages (dans l'ordre décroissant)	Inconvénients (dans l'ordre décroissant)
Technique mono-cône	Rapide Facile Faible coût Peu de matériel	Incontrôlable/dépassement Fracture du bourre-pâte Pas tridimensionnelle Pas de densité
Condensation latérale	Contrôlable Peu de matériel Faible coût	Longue Difficile Fêlure radiculaire Pas tridimensionnelle Pas de tenon dans la séance
Thermocompactage	Peu de matériel Rapide Faible coût Tenon dans la séance	Incontrôlable/dépassement Fracture du condenseur Échauffement tissulaire
Condensation latérale modifiée	Contrôlable Rapide Matériel peu coûteux Tenon dans la séance	Apprentissage Échauffement parodonte Pas tridimensionnelle à l'apex Fracture instrument
Condensation verticale	Tridimensionnelle Contrôlable Tenon dans la séance	Longue Apprentissage important Matériel annexe
Condensation verticale en une vague (Buchanan)	Rapide Contrôlable Tridimensionnelle Tenon dans la séance	Matériel annexe Coût initial Apprentissage Risque d'échauffement
Tuteur enrobé	Très rapide Tridimensionnelle	Matériel annexe Coût Préparation du logement de tenon parfois difficile Dépassement de gutta-percha

Pour une mise en forme conique et une obturation en compactage de gutta chaude, les cônes non standardisés (en général des cônes *medium,* ou plus larges pour les racines larges), les cônes à conicité accentuée ou les cônes systèmes (cônes ProTaper par exemple) seront utilisés.

Une réglette de calibrage de la gutta (Dentsply Maillefer) est utilisée pour calibrer les cônes de gutta *medium*. Le cône est inséré dans l'orifice correspondant au diamètre du dernier instrument utilisé à la longueur de travail *(fig. 12.2).* Cette manœuvre permet rarement l'ajustage dès le premier essayage mais elle réalise un « dégrossissage ». Le cône est alors introduit dans le canal et la sensation de *tug-back* à 0,5 mm de la longueur de travail est recherchée. Si le cône atteint la longueur de travail sans la sensation de résistance de retrait, il est ressorti du canal et son extrémité est sectionnée sur 0,5 mm. Il est alors réessayé et, si nécessaire, sectionné à nouveau.

La sensation de *tug-back* est recherchée à 0,5 mm de la longueur de travail car, une fois le cône condensé, il sera poussé et bloqué à la longueur de travail, assurant ainsi une excellente étanchéité.

Bien que déconseillée, la technique mono-cône reste largement utilisée. Dans ce cas, le cône de gutta n'est pas condensé et l'ajustage du cône par résistance au retrait devra se faire directement à la longueur de travail afin que tout l'espace canalaire mis en forme soit obturé.

L'ajustage du cône peut être défaillant lorsque sa conicité est supérieure à celle du canal. La sensation de friction ressentie est soit la conséquence d'un frottement bien avant que le cône atteigne la longueur voulue lors de l'insertion, soit une sensation de friction « longue » lors de la désinsertion. Dans ces conditions, la condensation entraîne l'extrémité du cône au-delà du *foramen* et l'épaisseur du joint de ciment est plus importante au niveau apical.

Un bon ajustage est vérifié tactilement lorsque l'insertion se fait sans friction sur toute la longueur canalaire et qu'elle intervient uniquement à 1 ou 2 mm de la longueur, et lorsque la désinsertion se fait d'un coup sec après résistance au retrait.

Une fois ajusté, le cône est placé dans un récipient contenant de l'hypochlorite de sodium ~~à 5 %~~ pour en assurer la désinfection avant utilisation.

6684_.indb 258 01/08/12 15:36

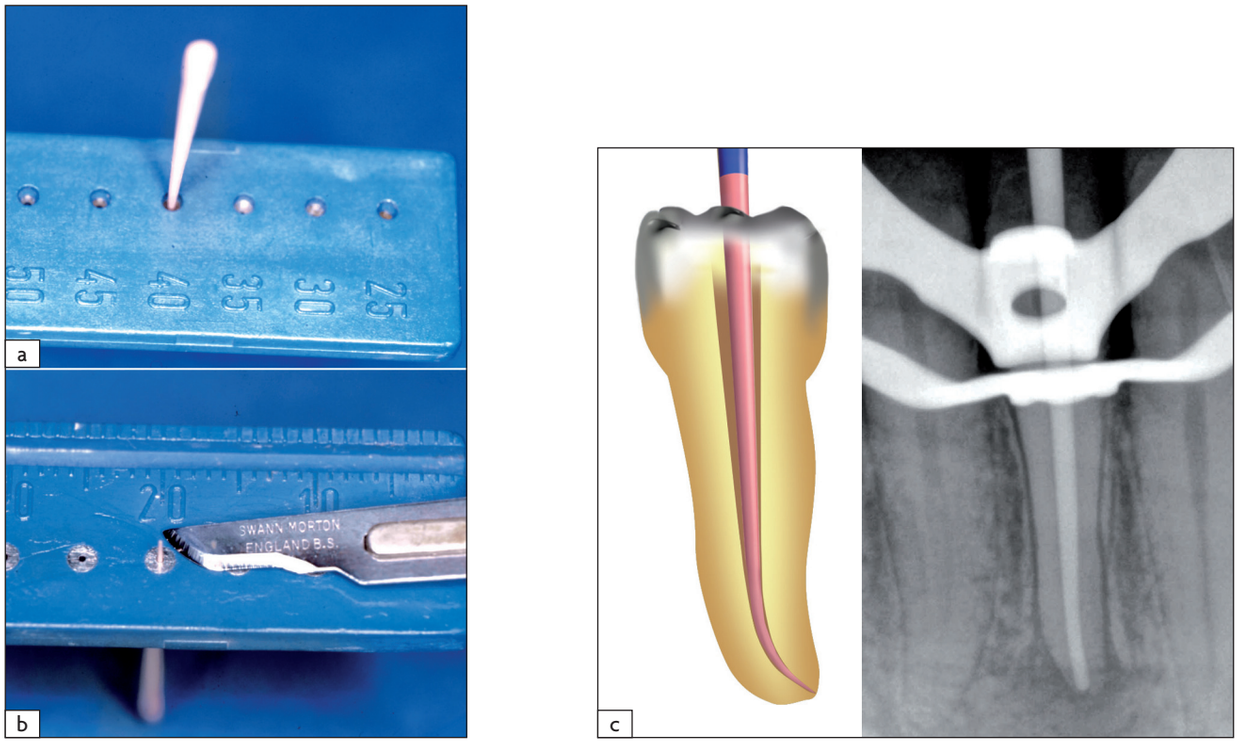


Figure 12.2 **a et b.** Le maître cône est calibré à l'aide d'une jauge et sectionné. **c.** Il est ajusté à la longueur de travail moins 0,5 mm avec une résistance au retrait due à la friction contre les parois apicales des deux derniers millimètres. Une radiographie de contrôle de l'ajustage du cône est conseillée.

Le ciment est alors malaxé en respectant les proportions préconisées de poudre et de liquide. Sa consistance est celle d'une pâte dentifrice et elle doit répondre au test d'étirement sur 10 mm minimum *(fig. 12.3)*.
Le canal est séché par aspiration puis par utilisation de cônes de papier stériles.
Le cône est séché dans une compresse stérile, badigeonné de ciment de scellement puis placé dans le canal.

Figure 12.3 Test d'étirement du ciment de scellement. Celui-ci, mélangé à la bonne consistance, doit s'étirer sur 10 mm au minimum entre le bloc à spatuler et la spatule avant de se rompre.

Le ciment peut aussi être mis en place dans le canal à l'aide d'une pointe de papier adaptée au diamètre de la préparation.
Suivant le principe d'adaptation d'un cône plein inséré dans un cône creux, la vitesse du déplacement apical du ciment va s'accélérer sous l'effet de la réduction du diamètre du canal, en particulier lorsque la conicité du cône est similaire à celle du canal (cas des cônes à forte conicité). Le cône se déplaçant à vitesse constante lors de son insertion, les pressions générées au sein du ciment vont permettre une première adaptation dont l'intimité va conditionner le résultat final du compactage.
La densité de l'obturation sera fonction de l'aptitude de la technique choisie à remplir la totalité du réseau endodontique préalablement mis en forme, nettoyé et désinfecté par l'irrigation. L'insertion d'une quantité suffisante de gutta-percha et son compactage diminuent le volume et l'épaisseur du joint de ciment.

Important ! **C'est avec les techniques de compactage à chaud que l'adaptation et la densité sont les meilleures avec une quantité de ciment minimale.**

b - Obturation à l'aide de gutta-percha à froid

1 - Technique mono-cône

Cette technique consiste à injecter de la pâte dans le canal avec un instrument rotatif puis à insérer un cône de gutta unique.

6684_.indb 259 01/08/12 15:36

Dans les années 1930, Lentulo (cité par Marmasse, 1974) mettait au point un instrument rotatif destiné à l'obturation des canaux, le « bourre-pâte », appellation qui s'est transformée de nos jours en « Lentulo » (Dentsply Maillefer). Il était défini comme « une très fine vis sans fin conique, formée par un fil d'acier souple spiralé à gauche ». En rotation horaire, il agit comme une vis d'Archimède inversée qui propulse le ciment. Cette technique a été enseignée dans l'ensemble des facultés d'odontologie durant des années et bon nombre de praticiens continuent de l'appliquer. Elle est toujours utilisée par le seul fait de sa rapidité de mise en œuvre et des habitudes acquises. C'est ignorer qu'il existe maintenant des méthodes beaucoup plus fiables, aux résultats prévisibles, efficaces et tout aussi rapides. D'autres instruments rotatifs similaires sont proposés avec la prétention d'optimiser la poussée du ciment (Pastinject™, Micro Mega) et/ou d'éviter le dépassement de ciment en inversant la trajectoire hélicoïdale de la lame sur les derniers millimètres d'un instrument en nickel-titane (EZ-Fill® Bi-Directional Spiral Past Filler, EDS).
Cette technique ne permet pas une réelle obturation du système canalaire mais, au mieux, d'effectuer un remplissage du canal principal. Outre l'absence de densité et de scellement (vu les volumes importants de pâte) qui en résulte, elle est caractérisée par une rétraction de prise importante et les résorptions qui s'ensuivent entraînent un réel manque d'étanchéité.

Cette technique est difficilement contrôlable et reproductible et présente l'inconvénient d'entraîner des sous-obturations ainsi que des fractures du Lentulo ou, pire, des dépassements importants de pâte. Ces dépassements peuvent avoir des conséquences désastreuses si la pâte à base d'oxyde de zinc est propulsée dans le sinus (Khongkhunthian et Reichart, 2001) ou dans le nerf dentaire inférieur.

Bien que la technique mono-cône ne soit pas recommandée, il est conseillé à ses utilisateurs inconditionnels de vérifier le sens de rotation du Lentulo, d'employer des cônes à la conicité augmentée plutôt que les pointes ISO (afin de diminuer la quantité de pâte dans le canal), d'adapter d'abord le cône (comme cela est décrit et mieux, dans la partie précédente : recherche du *tug-back*), d'utiliser le cône lui-même en le badigeonnant de ciment de scellement plutôt que de le propulser au Lentulo et, enfin, d'utiliser des ciments de scellement canalaire du type Sealite® Regular (Acteon) plutôt que des pâtes contenant antiseptiques et anti-inflammatoires.

2 - Condensation latérale à froid de gutta-percha

◆ Matériel

Outre le cône de gutta-percha préalablement ajusté (maître cône) de conicité ISO et du ciment de scellement, cette technique nécessite des fouloirs manuels pour condensation latérale à froid appelés *spreaders* (*to spread :* étaler) fine des cônes de gutta-percha « accessoires » (25#.02 ou F), un excavateur usagé destiné à sectionner l'excédent coronaire de gutta-percha et un fouloir à bout plat de type *plugger*.

◆ Technique

Les *spreaders* sont essayés dans le canal. Le plus apical doit atteindre la longueur de travail moins 2 mm *(fig. 12.4a)*. Le maître cône, badigeonné de ciment de scellement, est inséré dans le canal. Un *spreader* large est alors inséré le plus loin possible, latéralement entre la paroi du canal et le cône de gutta, puis celui-ci est écrasé contre la paroi canalaire en direction apicale *(fig. 12.4b)*. Le *spreader* est alors retiré par des mouvements de rotation de très faible amplitude en prenant soin de ne pas enlever le cône. Un *spreader* plus fin vient se loger dans l'empreinte laissée par le précédent en pénétrant plus loin dans le canal et la manœuvre de condensation latérale de la gutta est répétée *(fig. 12.4c)*. Lorsque le

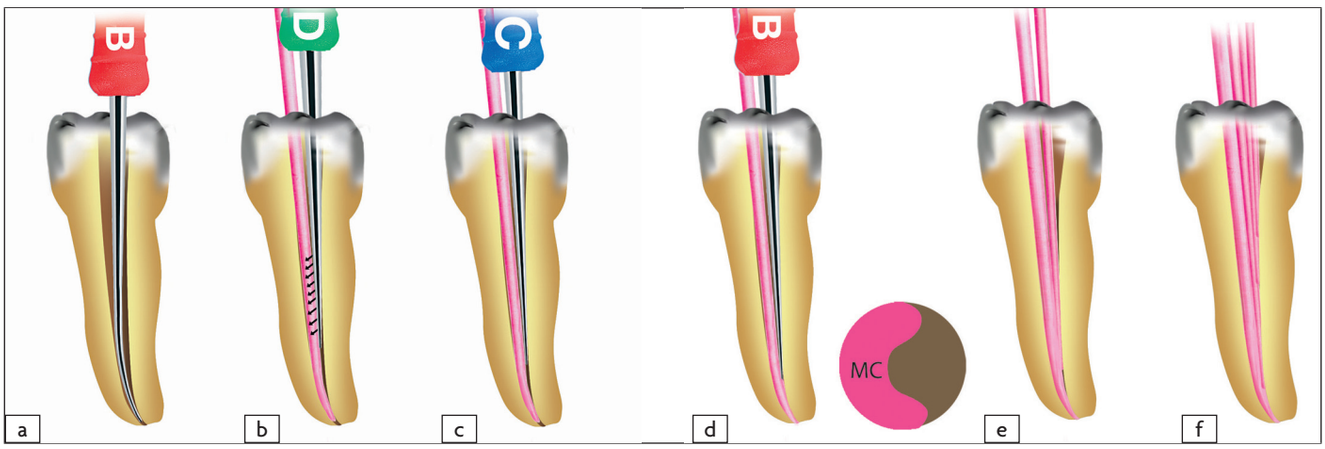


Figure 12.4 **a.** L'essayage des fouloirs *(spreaders)* permet de sélectionner celui qui peut atteindre longueur de travail moins 2 mm. **b et c.** Le cône badigeonné de ciment de scellement est inséré dans le canal. Le fouloir D, le plus gros, compacte le tiers cervical du maître cône et crée l'espace pour que le fouloir suivant puisse pénétrer plus apicalement. **d.** Le fouloir le plus fin est ensuite inséré le long du cône et le compacte à son tour au niveau du tiers apical, le faisant progresser jusqu'à longueur de travail. Vue en section du canal après retrait du fouloir au niveau des tiers coronaire et moyen. **e et f.** Le maître cône compacté contre la paroi canalaire laisse un vide latéral qui sera comblé par les cônes accessoires, qui y sont insérés. Ils sont compactés à leur tour jusqu'à l'obturation complète.

6684_.indb 260 01/08/12 15:36

dernier *spreader* a condensé la gutta en pénétrant à moins 2 mm de la longueur de travail *(fig. 12.4d),* il est désinséré et un premier cône accessoire est inséré dans l'espace libre. Le *spreader* est alors réutilisé pour condenser latéralement le cône accessoire *(fig. 12.4e).* Un autre cône accessoire est inséré dans le canal et condensé latéralement. Cette manœuvre est répétée jusqu'à l'obturation complète *(fig. 12.4f).* Les extrémités des cônes sont alors sectionnées à l'orifice canalaire avec l'excavateur chauffé au rouge et la masse de gutta-percha est condensée à l'entrée du canal avec le fouloir plat *(plugger)* jusqu'à son refroidissement.

3 - Condensation thermomécanique (ou technique de McSpadden)

Le principe est de réchauffer et de ramollir la gutta par friction contre les parois canalaires.
Pour ce faire, un instrument spécial, appelé thermocompacteur, est utilisé en rotation sur contre-angle bleu, entre 5 000 et 8 000 tr/min (Gutta Condensors®, Dentsply Maillefer). Cet instrument ressemble à une lime H, mais les épaulements des lames sont dirigés vers la pointe ce qui implique que l'instrument présente une trajectoire hélicoïdale inversée : lorsqu'il est en rotation horaire, il remonte coronairement tout en propulsant la gutta en direction apicale.
Le compacteur sélectionné pour l'obturation sera celui qui pénètre à la longueur de travail sans aucun blocage.
Le sens de rotation sera toujours vérifié à l'extérieur du canal afin de s'assurer que le thermocompacteur remonte et ne se visse pas apicalement.
Après insertion du cône de gutta-percha badigeonné de ciment de scellement dans le canal, le thermocompacteur est alors inséré le long du cône de gutta jusqu'au blocage, puis il est mis en rotation et maintenu en place pendant 1 à 2 secondes, sans poussée apicale et en contrecarrant la tendance de l'instrument à vouloir ressortir du canal.
La gutta-percha est happée par l'instrument qui la fait tourner sur elle-même dans le canal, ce qui conduit à son ramollissement par friction contre les parois. Dès que la friction a plastifié la gutta-percha, le thermocompacteur est inséré en direction apicale et en s'arrêtant au maximum à 1,5 mm de la longueur de travail. Le compacteur est alors retiré lentement, en maintenant le contact avec une paroi canalaire.
Cette étape ne doit pas excéder 6 à 8 secondes sous peine d'élévation très importante de la température, ce qui peut endommager de façon irréversible le parodonte (Saunders, 1990).
Un *plugger* ou un *spreader* est utilisé pour compacter la gutta coronairement.
Dans les canaux droits et dans le cas d'apex larges, il est conseillé d'éviter les mouvements de pompage sous peine de dépassement important de gutta dans la zone apicale.

Cette technique est rapide mais sa courbe d'apprentissage est longue. Elle peut s'avérer dangereuse dans des mains non expérimentées.

4 - Condensation latérale modifiée par thermocompactage (Peli et al. 1988) (fig. 12.5)

C'est la combinaison des deux techniques précédentes.
La première phase consiste à condenser latéralement le maître cône puis à rajouter et condenser latéralement 2 ou 3 cônes accessoires seulement afin d'assurer l'obturation du tiers apical.
Après cette « sécurisation » du tiers apical, un thermocompacteur de gros diamètre est utilisé pour obturer le canal en se servant de la portion coronaire des cônes.
Cette méthode permet d'obtenir une obturation plus dense dans les deux tiers coronaires que celle obtenue avec la condensation latérale pure, tout en évitant les dépassements inhérents au thermocompactage, qui est délicat à contrôler lorsqu'elle est utilisée seule pour la totalité du canal.

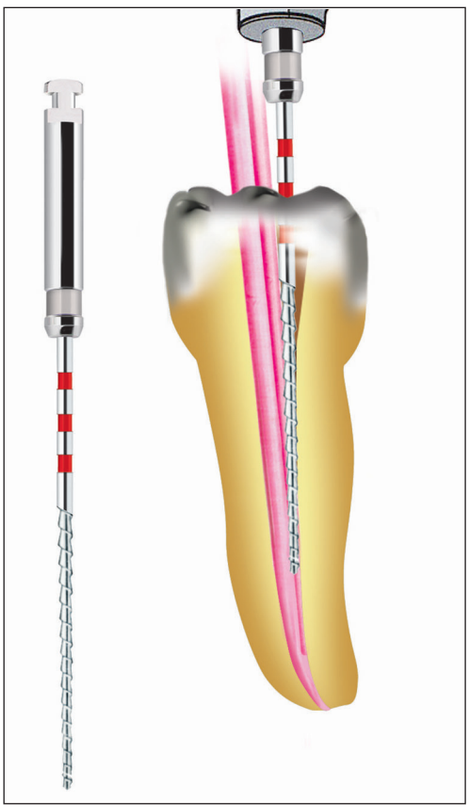


Figure 12.5 Les étapes initiales sont identiques à celles des figures 12.4a, b et c. L'obturation du tiers apical est assurée par le maître cône et le compactage latéral à froid. Après le premier cône accessoire, le thermocompacteur est utilisé en rotation horaire pour plastifier et propulser la gutta dans le réseau canalaire des deux tiers coronaires.

6684_.indb 261 01/08/12 15:36

c - Techniques d'obturation par compactage de gutta chaude

1 - Condensation verticale ou compactage vertical, ou technique de Schilder

Il s'agit de la technique princeps décrite par Schilder (1967).

◆ **Matériel**

Cette technique utilise des instruments réchauffeurs, qui sont destinés à apporter la chaleur au cœur de la gutta-percha. Ils sont appelés *heat carriers*. Ils sont complétés par l'usage de fouloirs manuels longs, à extrémité plate : les *pluggers* (*plug* : bouchon). Les *pluggers* sont disponibles en différents diamètres et gradués tous les 5 mm.

Différents fabricants proposent divers types de fouloirs avec des diamètres et des angulations différents.

Les *heat carriers* requièrent une source de chaleur jadis assurée par une flamme dure (torche à gaz), afin de réchauffer rapidement l'instrument. L'ensemble a été remplacé par un appareil électronique : le *Touch'n Heat*® (SybronEndo) qui est composé d'un bloc électrique qui alimente une pièce a main et un insert *heat carrier*.

Un godet rempli de poudre d'oxyde de zinc peut être utile pour le trempage de l'extrémité des fouloirs afin d'éviter l'adhésion de la gutta lors de son compactage.

Comme cela a été précédemment indiqué, le cône à utiliser et à ajuster devra présenter une conicité importante afin d'assurer une masse de gutta suffisante à la création des bouchons successifs lors du compactage.

Lors des phases de réchauffage-compactage, l'augmentation de pression va pousser la gutta-percha et le ciment de scellement latéralement, contribuant ainsi à l'obturation tridimensionnelle. Lors de la phase finale, la gutta qui a été ajustée à 0,5 mm de la longueur est poussée vers le *foramen* et finira par le sceller de manière étanche, alors qu'elle pousse le ciment latéralement dans les anfractuosités du système canalaire, permettant ainsi de capturer l'anatomie apicale tout en limitant l'épaisseur du joint de ciment.

Remarque : un faible dépassement ~~péri-apical~~ de matériau (ciment et/ou gutta-percha) peut apparaître mais lorsque le *foramen* a été respecté en diamètre et position au cours de la mise en forme, cet éventuel dépassement est appelé « surobturation » et ~~il est garant d'une étanchéité convenable.~~

◆ **Technique**

Les *pluggers* sont essayés dans le canal. En général, trois fouloirs sont suffisants pour permettre d'obturer un canal. Dès qu'un fouloir est en contact avec les parois canalaires, il est légèrement retiré et un stop en silicone marque sa limite de pénétration maximale afin d'éviter les effets de coin sur la racine. La profondeur de pénétration du dernier fouloir doit correspondre à la longueur de travail moins 4 ou 5 mm. Pour deux fouloirs qui atteignent cette longueur, le plus large des deux sera utilisé. Le cône de gutta est badigeonné de ciment puis inséré à la longueur. Le *heat carrier* est activé et sectionne le cône de gutta à l'entrée du canal *(fig. 12.6a)*. Le plus gros fouloir est alors utilisé pour compacter la gutta et créer rapidement un bouchon de gutta-percha *(fig. 12.6b)*. Ce bouchon est réchauffé en y plongeant à nouveau le *heat carrier,* dont le retrait s'accompagne de l'éviction d'une petite portion de gutta *(fig. 12.6c)*. Un *plugger* plus fin est alors utilisé pour compacter la gutta plus profondément dans le canal *(fig. 12.6d)*. Le cycle de réchauffage-compactage est poursuivi avec, à chaque réchauffage, le retrait d'une petite portion de gutta. Le passage d'un *plugger* à un autre plus petit se fait lorsque le *plugger* utilisé arrive à sa profondeur de pénétration maximale *(fig. 12.6e et 12.6f)*. Ces *pluggers* peuvent être plongés au préalable dans le godet de poudre d'oxyde de zinc pour empêcher la gutta-percha d'y adhérer.

La technique repose sur l'apport régulier de chaleur dans la gutta, qui entraîne sa plastification, et sur la création d'un bouchon de gutta qui est compacté, permettant ainsi l'obturation des espaces latéraux. Ce phénomène s'accompagne d'un transfert progressif de chaleur à une portion plus apicale du cône qui forme à son tour un bouchon qui est compacté. La phase de descente permet l'obturation des espaces latéraux et aboutit à la formation d'un bouchon apical de gutta-percha *(fig. 12.6g)*.

Essentiel : **la conicité du canal joue un rôle essentiel puisqu'elle permet le transfert de la pression appliquée verticalement sur la gutta en pression latérale, du fait de la convergence des parois. Le maintien de la pression avec le fouloir, sur la gutta-percha compense sa rétraction durant son refroidissement.**

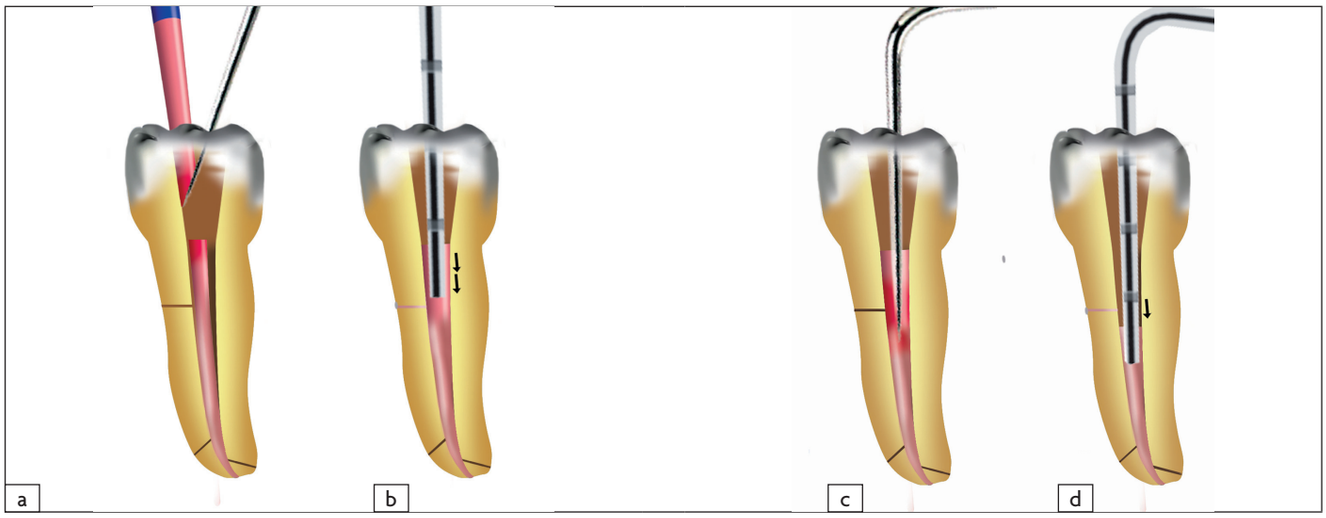
La dernière phase est celle de la remontée apico-coronaire *(back-fill)*. Elle peut être réalisée de 2 manières différentes :

- par utilisation d'un système de gutta injectable. L'aiguille est insérée dans le canal jusqu'au contact du bouchon de gutta apical, elle est maintenue en place pendant 3 ou 4 secondes afin de réchauffer la partie supérieure du bouchon. La gutta est alors injectée en maintenant l'aiguille au même niveau dans le canal sans pression excessive, jusqu'au moment où la pression de la gutta repousse la main du praticien. Un fouloir manuel de gutta est alors utilisé pour compacter la gutta injectée ;
- un ou deux cônes de gutta sont insérés dans l'espace laissé libre qui est obturé par thermocompactage mécanique à l'aide d'un Gutta-Condensor® de diamètre adapté monté sur contre-angle entre 5 000 et 8 000 tr/min.

2 - Technique de compactage vertical centré en vague unique, ou technique de Buchanan

Dérivée de la technique de Schilder, la technique de compactage vertical centrée en vague unique a été mise au point par Buchanan (1994). Dans cette technique, le *heat carrier* et les différents *pluggers* sont remplacés par un seul instrument

6684_.indb 262 01/08/12 15:36



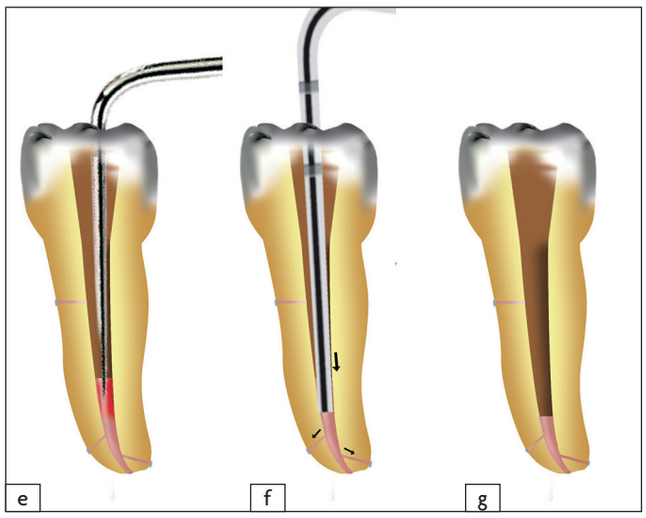


Figure 12.6 **a et b.** Le maître cône est sectionné à l'aide du *heat carrier* chaud. Noter la portion coronaire du maître cône qui est ainsi chauffée et plastifiée. La gutta-percha est immédiatement compactée en direction apicale en créant un bouchon de gutta-percha à l'aide du *plugger* 4 ou 3. Le bouchon sera progressivement chauffé et déplacé plus bas. **c et d.** Le *heat carrier* est activé puis à nouveau plongé dans la gutta. En ressortant, il ramène une portion de gutta-percha. Il faut veiller à ne pas toucher les parois dentinaires. La partie apicale plastifiée sera à nouveau compacté avec le *plugger* de diamètre inférieur. **e, f et g.** Les mêmes étapes se succèdent jusqu'à ce que le dernier *plugger* atteigne la profondeur présélectionnée, c'est-à-dire longueur de travail moins 4 ou 5 mm. Le tiers apical et les canaux latéraux sont obturés de manière tridimensionnelle lors de cette phase de descente. La portion coronaire du canal peut être obturée avec un ou deux cônes accessoires et un thermocompacteur, de la gutta-percha injectée à chaud à partir d'une seringue ou d'un pistolet.

jouant le rôle de fouloir et de réchauffeur. Ce fouloir/réchauffeur est utilisé pour compacter verticalement, et en un seul mouvement de descente, un cône de gutta-percha qui a été préalablement calibré à l'apex. À l'instar de la technique de Schilder, cette vague de descente aboutit à l'obturation du système canalaire latéralement et à la création d'un bouchon apical. Elle est suivie d'une phase de remontée qui permet d'obturer la partie du canal coronairement au bouchon apical.

◆ Matériel

Le matériel initialement créé pour la mise en œuvre de cette technique, le System B® (SybronEndo), est longtemps resté unique sur le marché et sa popularité est devenue synonyme de la technique.

À l'heure actuelle, différents systèmes permettent de réaliser uniquement soit l'étape de descente *(down-pack)* soit l'étape de remontée *(back-fill)*, ou des appareils 2 en 1, combinant les outils nécessaires aux deux étapes, sont proposés par différents fabricants *(fig. 12.7 et 12.8)*.
Les différences entre les systèmes résident dans l'ergonomie et le design des appareils, la source d'alimentation (branchement électrique ou batterie permettant un fonctionnement sans fil) et le nombre de fouloirs proposés.

La technique est rigoureusement la même quel que soit le matériel utilisé.

6684_.indb 263 01/08/12 15:36

Figure 12.7 Element Obturation® (gauche) et Calamus® Dual. Ces deux appareils 2 en 1 possèdent une pièce à main *plugger* et un stylo à injecter. Une pression du doigt active la chauffe du *heat carrier-plugger* (HCP) ou délivre la gutta-percha à l'extrémité de l'aiguille.

Figure 12.8 Système Super Endo BL® : la pièce à main et le pistolet à injecter sont sans fil et fonctionnent sur batteries rechargeables.

◆ **Technique**

À l'instar de toutes les techniques fondées sur la condensation de gutta-percha, l'ajustage d'un maître cône est primordial pour l'obtention d'une bonne étanchéité apicale. Les cônes utilisés et leur ajustage apical ont été décrits dans le paragraphe précédent (technique de Schilder).

Une fois le cône de gutta ajusté, les fouloirs sont essayés dans le canal. Le fouloir adéquat est celui qui pénétrera jusqu'à 4-5 mm de la longueur de travail.

Un stop en silicone sera positionné sur le fouloir à la profondeur de pénétration maximum moins 0,5 mm. En effet, lors du compactage, le fouloir ne doit pas rentrer en contact avec les parois canalaires, ni latéralement ni apicalement, afin d'éviter les élévations importantes de température pouvant entraîner des lésions des cellules desmodontales (McCullagh *et al.*, 2000) ou une fracture de la racine par effet de coin. Si 2 fouloirs pénètrent au même niveau, le choix se portera sur le plus large.

Le cône de gutta est alors retiré de la solution d'hypochlorite de sodium dans laquelle il avait été préalablement trempé pour assurer sa décontamination, séché à l'aide d'une compresse stérile, puis il est badigeonné de ciment de scellement du type Pulp Canal Sealer®. Il est alors inséré lentement à la longueur à laquelle il a été précédemment ajusté.

Le fouloir/réchauffeur du système est alors activé afin de sectionner le cône de gutta au niveau de l'orifice canalaire *(fig. 12.9a).* Un fouloir manuel de compactage vertical est alors utilisé pour compacter à froid le cône de gutta à l'entrée du canal, afin de créer un plateau *(fig. 12.9b).*

Le fouloir/réchauffeur est centré sur la surface de la gutta-percha, le contacteur est activé, et est descendu dans l'axe du canal *(fig. 12.9c),* dans un mouvement continu jusqu'à 1 à 2 mm de la longueur marquée par le stop *(fig. 12.9d et 12.9e).*

À ce niveau, l'émission de chaleur est arrêtée par relâchement du contacteur, tout en maintenant la pression verticale sur le fouloir, qui continue sa progression jusqu'à ce que la profondeur repérée par le stop soit atteinte. Cette phase de descente dure 2 à 3 secondes maximum.

La pression sur le bouchon apical de gutta est maintenue à froid pendant une dizaine de secondes afin de permettre la poussée de la gutta et du ciment de scellement dans l'anatomie canalaire apicale et de contrebalancer la rétraction de la gutta-percha lors de son refroidissement *(fig. 12.9f).*

Remarque : **cette phase de descente aboutit à l'obturation des espaces latéraux du système canalaire ainsi qu'à la création d'un bouchon apical, grâce à l'hydraulique générée par les fouloirs chauds qui propulsent la gutta-percha et le ciment de scellement.**

Une impulsion de chaleur d'une seconde est donnée en activant à nouveau le contacteur tout en animant le fouloir d'un léger mouvement de rotation (afin de le séparer de la gutta-percha), puis ce dernier est retiré du canal *(fig. 12.9g).*

Un fouloir manuel de compactage vertical fin est alors utilisé à froid pour ramener la gutta-percha des parois et la compacter au centre du canal *(fig. 12.9h).*

La phase de descente permet l'obturation des espaces latéraux et aboutit à la formation d'un bouchon apical de gutta-percha *(fig. 12.9i).*

Une radiographie peut être prise à ce moment afin de vérifier la qualité du bouchon apical.

La remontée *(back-fill)* est réalisée comme pour la technique de Schilder par utilisation de gutta injectée ou de thermo-compacteurs *(fig. 12.10).*

6684_.indb 264 01/08/12 15:36

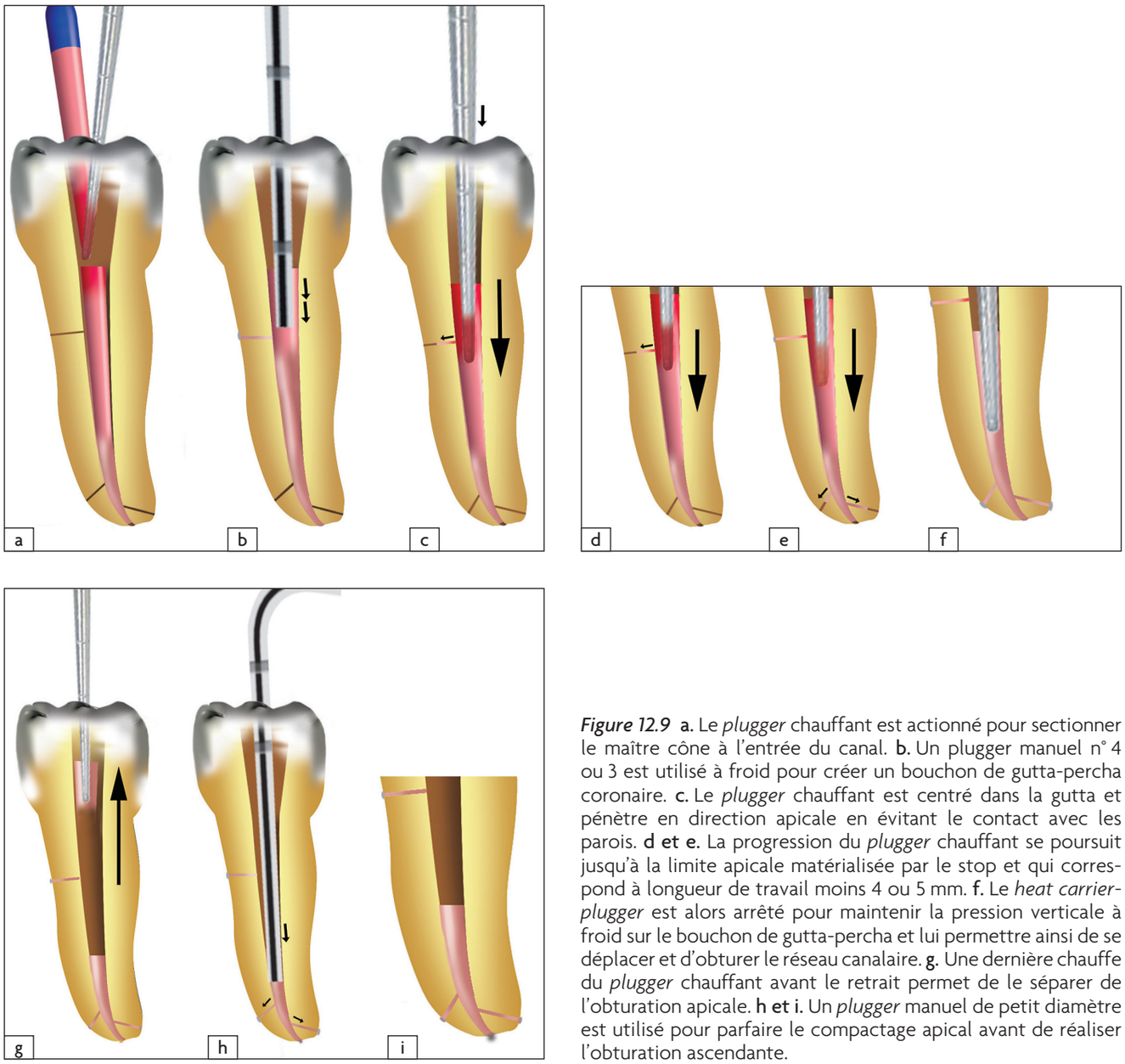


Figure 12.9 **a.** Le *plugger* chauffant est actionné pour sectionner le maître cône à l'entrée du canal. **b.** Un plugger manuel n° 4 ou 3 est utilisé à froid pour créer un bouchon de gutta-percha coronaire. **c.** Le *plugger* chauffant est centré dans la gutta et pénètre en direction apicale en évitant le contact avec les parois. **d et e.** La progression du *plugger* chauffant se poursuit jusqu'à la limite apicale matérialisée par le stop et qui correspond à longueur de travail moins 4 ou 5 mm. **f.** Le *heat carrier-plugger* est alors arrêté pour maintenir la pression verticale à froid sur le bouchon de gutta-percha et lui permettre ainsi de se déplacer et d'obturer le réseau canalaire. **g.** Une dernière chauffe du *plugger* chauffant avant le retrait permet de le séparer de l'obturation apicale. **h et i.** Un *plugger* manuel de petit diamètre est utilisé pour parfaire le compactage apical avant de réaliser l'obturation ascendante.

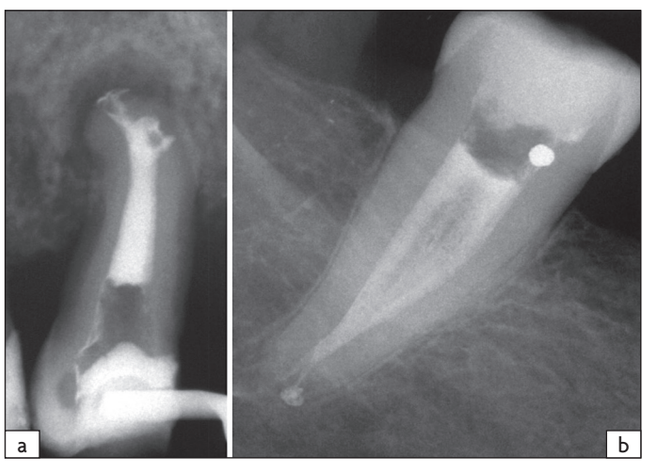


Figure 12.10 Les techniques de gutta chaude sont celles qui permettent le mieux une obturation tridimensionnelle du système canalaire.

6684_.indb 265 01/08/12 15:36

3 - Technique de compactage vertical centré en technique hybride

Il s'agit d'une variante de la technique en vague unique. Elle est réalisée avec le même matériel.
Les étapes sont toutes identiques jusqu'à la section du cône à l'entrée du canal et à la création du plateau de gutta coronaire.
À partir de ce stade, la descente, au lieu d'être réalisée en un seul mouvement continu de 2 à 3 secondes, l'est en plusieurs cycles successifs de réchauffage/pénétration de 2 à 3 mm/maintien de la pression à froid pendant quelques secondes.
Ainsi, le réchauffeur/fouloir est activé et pénètre le canal sur 2 à 3 mm seulement. La pression est alors maintenue à froid pendant quelques secondes. Puis le réchauffeur est réactivé et pénètre à chaud plus profondément sur 2 à 3 mm supplémentaires, et la pression est maintenue à froid pendant quelques secondes. Le cycle réchauffage/pénétration/pression est répété jusqu'à ce que le réchauffeur atteigne la longueur de pénétration maximale. Le fouloir est alors désinséré après un dernier réchauffage et un fouloir manuel est utilisé pour compacter le bouchon apical. La remontée de la gutta est réalisée comme décrit plus haut.
Cette technique hybride a pour objectif de se rapprocher de la technique originelle de Schilder en reproduisant les cycles de réchauffage/compactage.

4 - Techniques de gutta préchauffée sur tuteur

◆ **Matériel**

Initialement décrite par Ben Johnson en 1978 et commercialisée sous le nom de Thermafil®, la technique consiste en un obturateur composé d'un tuteur en plastique radio-opaque et flexible enduit de gutta-percha en phase alpha *(fig. 12.11)*. Cet obturateur est préchauffé dans un four spécial *(fig. 12.11)* qui assure un contrôle du temps et de la température et, une fois thermoplastifié, il est inséré à la longueur de travail.

Figure 12.11 Éléments du système Thermafil® : les obturateurs ainsi que le four Thermaprep® qui sert à les réchauffer. Les fraises Thermacut® et Post Space Bur® permettent de sectionner le tuteur et de réaliser un espace pour le logement du tenon.

Le système comprend en outre des fraises spéciales (Thermacut®), réservées à la section de l'obturateur à l'entrée du canal, ainsi que des forets spéciaux permettant la réalisation d'un logement de tenon (Post Space Bur®) *(fig. 12.11)*.
Il existe actuellement, chez le même fabricant, en plus de la version originale du Thermafil®, des variantes correspondant à des systèmes de mise en forme canalaire (ProTaper Obturator®, WaveOne Obturator®). Ils sont identiques dans le principe et dans la composition de la gutta au Thermafil®.
D'autres fabricants ont par ailleurs mis sur le marché des systèmes semblables dans le principe avec des modifications au niveau des tuteurs (Soft Core® ou HeroFill®). Il semblerait néanmoins que la composition de la gutta-percha soit différente de celle du Thermafil®, avec présence de porosités dans la masse de la gutta-percha, et les études sur l'étanchéité portant sur le Soft Core® sont contradictoires (De Moor et Martens, 1999 ; De Moor et De Boever, 2001).

◆ **Technique**

Contrairement aux cônes de gutta, les obturateurs sur tuteur ne peuvent pas être essayés dans le canal avant utilisation.
Si la mise en forme a été réalisée à l'aide des systèmes de mise en forme correspondants (ProTaper ou WaveOne) et que le diamètre apical a été correctement jaugé, l'obturateur choisi sera celui dont le diamètre correspond au dernier instrument utilisé pour la mise en forme apicale.
Si la mise en forme a été réalisée avec une autre technique et d'autres instruments, il est utile de jauger le canal afin de sélectionner le Thermafil® qui correspondra le mieux à la mise en forme finale *(fig. 12.12a)*. Ainsi, un Verifier® du même diamètre que le dernier instrument de mise en forme est utilisé pour jauger le diamètre apical du canal : il doit s'adapter, avec une sensation de friction, entre 0,5 mm et la longueur de travail, et ne doit pas avancer plus apicalement si une légère poussée y est appliquée avec la pulpe du doigt. Si le Verifier® atteint la longueur de travail sans aucune friction apicale, cela indique que son diamètre (et par conséquent le Thermafil® correspondant) est sous-dimensionné par rapport au diamètre final de la préparation. L'obturateur Thermafil® doit correspondre au Verifier® qui s'est bloqué à la longueur de travail. Le stop en silicone de l'obturateur est réglé à la longueur de travail afin de contrôler la pénétration du Thermafil®.
Afin de jauger le diamètre apical, une autre possibilité consiste à utiliser un tuteur Thermafil® dont la gutta-percha a été retirée (Pertot, 2000). Le tuteur en plastique qui bloquera entre 0,5 et 1 mm de la longueur de travail, en présentant une sensation de friction et de blocage dans son dernier millimètre sans contact latéral, indiquera le Thermafil® à utiliser.
Il est utile, avant réchauffage, d'estimer la longueur canalaire (depuis le plancher ou depuis la jonction émail-cément) et d'éliminer la gutta coronaire en excès à l'aide d'une lame de bistouri. Cela évitera l'accumulation d'un excédent de gutta-percha dans la chambre pulpaire lors de l'obturation (Pertot, 2000 ; Pertot et Simon, 2003).
Le canal est séché par aspiration, puis avec des cônes de papier. Le ciment de scellement est préparé puis mis en place

6684_.indb 266 01/08/12 15:36

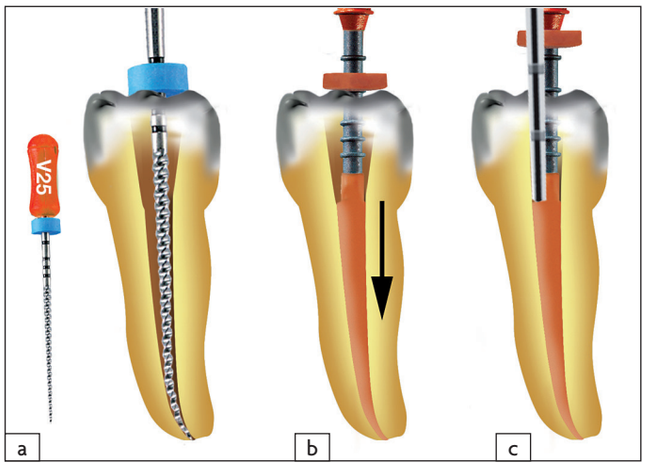


Figure 12.12 **a.** En général, le diamètre et la conicité du canal sont contrôlés à l'aide d'un Verifier® afin de choisir l'obturateur correspondant et le régler à longueur de travail. **b.** Après préchauffage dans le four, le tuteur est inséré lentement dans le canal jusqu'à ce que le stop rencontre le repère coronaire. **c.** Un *plugger* permet de compacter la gutta-percha autour du tuteur pendant son refroidissement.

sur les parois au niveau de tiers coronaire à l'aide d'une pointe de papier ou d'une sonde droite. Le fabricant recommande l'utilisation d'un ciment de scellement à base de résine époxy (Topseal® ou AH Plus®) mais d'autres ciments de scellement, comme le Pulp Canal Sealer® (SybronEndo) ou le Sealite® (Pierre Rolland) conviennent aussi.
Pendant ce temps, le Thermafil® est immergé dans une solution d'hypochlorite de sodium afin d'en assurer la décontamination.
L'obturateur est retiré de son bain d'hypochlorite, séché à l'aide d'une compresse stérile puis placé dans la cuve de réchauffage *(fig. 12.11),* après avoir sélectionné le diamètre sur le panneau frontal, ce qui permettra un temps correct de chauffage en fonction de la masse de gutta de l'obturateur. Quand le signal sonore retentit, l'ascenseur est remonté lentement et le Thermafil® est récupéré et inséré directement dans le canal, par un mouvement lent, ferme et continu, jusqu'à la longueur de travail préalablement repérée grâce au stop en silicone *(fig. 12.12b).*
Au fur et à mesure de son insertion, le tuteur en plastique exerce une pression hydraulique latérale de plus en plus importante (effet de coin) sur la gutta-percha plastifiée et le ciment de scellement.

Note : **en cas d'absence d'anesthésie, le patient est susceptible de ressentir une légère douleur lors de l'insertion, douleur résultant de la compression, dans les tissus péri-apicaux, de l'air contenu dans le canal. Cette douleur cesse dès que l'obturateur atteint la longueur de travail.**

L'obturateur est maintenu en place avec une légère pression pendant quelques secondes, afin de compenser la rétraction de la gutta-percha lors de son refroidissement.

Un fouloir manuel de compactage vertical est alors utilisé pour compacter la gutta autour du tuteur en plastique au niveau coronaire *(fig. 12.12c).*
L'obturateur est sectionné à l'entrée du canal à l'aide d'une fraise Thermacut® utilisée sur turbine sans eau *(fig. 12.11).* La même procédure est suivie pour l'obturation des autres canaux, le pansement provisoire est posé et les radiographies postopératoires sont réalisées.
En général, dans le cas d'une obturation sur une pluriradiculée, les canaux sont obturés et les Thermafil® sectionnés l'un à la suite de l'autre.
Si la préparation d'un logement de tenon est nécessaire, elle peut être réalisée dans la séance par utilisation de la Post Space Bur® *(fig. 12.11).* La préparation du logement de tenon dans la même séance ne semble pas altérer le scellement apical du Thermafil® (Saunders *et al.,* 1993). Utilisée sur turbine ou sur contre-angle rouge, sans spray d'eau, la Post Space Bur® est positionnée à l'entrée du canal au contact du tuteur en plastique. Elle est actionnée sur place pendant 1 ou 2 secondes afin de ramollir le tuteur puis, elle est enfoncée dans l'obturation, d'un mouvement lent et continu, et sans pression excessive. Une fois la désobturation du tuteur en plastique réalisée, les parois canalaires sont nettoyées à l'aide d'un foret de Gates de faible diamètre utilisé au retrait ou d'inserts ultrasonores.

Le Thermafil® est une technique intéressante par sa courbe d'apprentissage courte et sa rapidité de mise en œuvre clinique, ainsi que par sa capacité à obturer l'ensemble du réseau canalaire et à assurer un bon scellement apical.

Bien qu'indiquée pour toutes les dents, cette technique est surtout très intéressante pour l'obturation des canaux longs et courbés *(fig. 12.13).*
Les inconvénients des techniques d'obturation sur tuteur sont :
- la difficulté de préparation d'un logement de tenon dans les canaux ovales, ou le tuteur en plastique se retrouve bruni contre une paroi au lieu d'être éliminé ;
- la difficulté à contrôler les dépassements de gutta-percha et/ou de ciment de scellement.

2 - Considération sur les obturations à la gutta chaude

Important ! **Les techniques de gutta chaude sont les seules qui permettent l'obturation tridimensionnelle du réseau canalaire. Elles permettent une meilleure obturation du volume canalaire des canaux ovales, une meilleure obturation du système canalaire (canaux latéraux, canaux accessoires, isthmes) et une meilleure étanchéité apicale que les obturations à la pâte ou au mono-cône ou que la gutta-percha condensée à froid *(fig. 12.14).***

Néanmoins, si la condensation latérale a été tenue comme responsable du déclenchement de certaines fêlures radiculaires, les techniques de gutta chaude peuvent être problématiques en raison des élévations importantes de températures qu'elles peuvent provoquer si elles sont mal utilisées.

6684_.indb 267 01/08/12 15:36

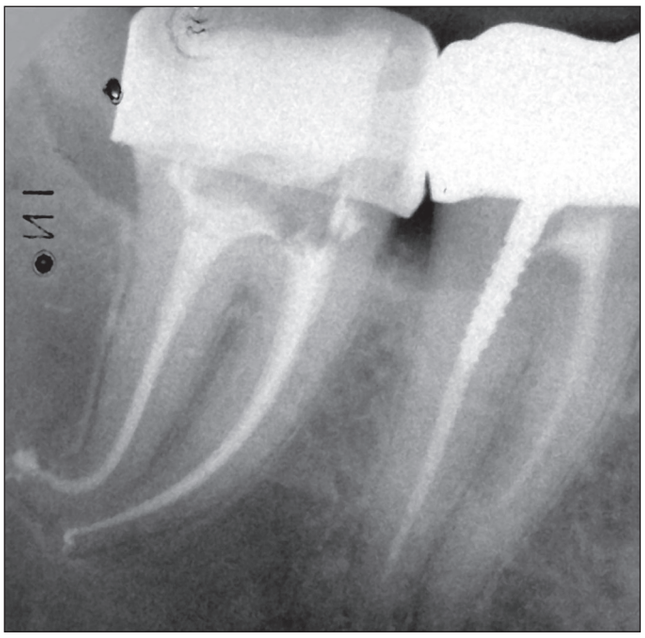


Figure 12.13 Les systèmes d'obturation utilisant la gutta chaude sur tuteur sont flexibles et très efficaces dans les canaux fins et courbés.

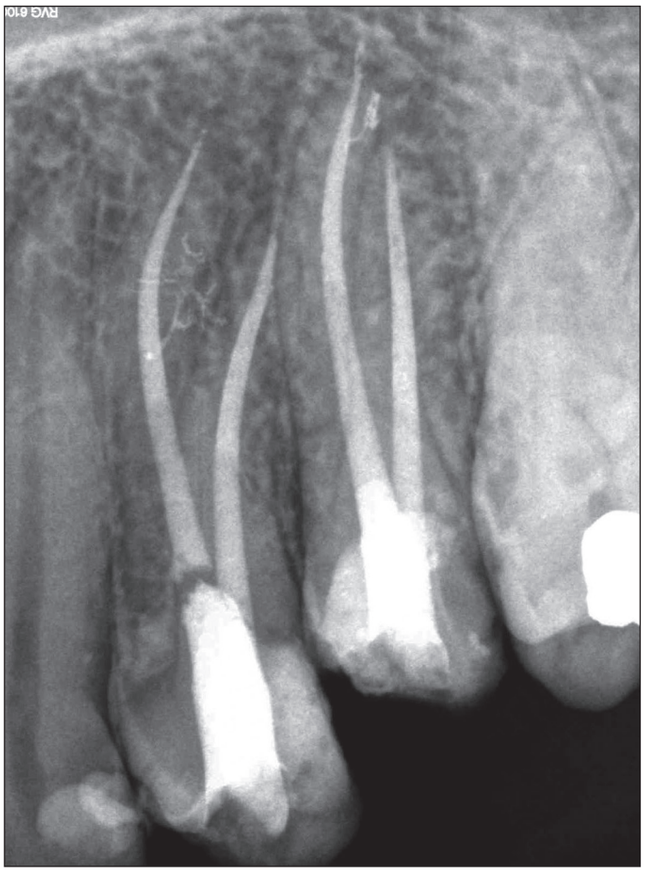


Figure 12.14 La gutta chaude permet une obturation tridimensionnelle du système canalaire matérialisée par l'obturation des canaux latéraux.

L'élément intéressant est l'élévation de température à la surface externe de la racine à la suite des manipulations à l'intérieur du canal. Une élévation de température de la surface externe de la racine de 10 °C, c'est-à-dire qui atteint 47 °C, au-delà de 1 minute est suffisante pour induire des altérations irréversibles du cément et du ligament parodontal (McCullagh *et al.,* 2000 ; Eriksson et Albrektsson, 1983).

Cela peut se produire lors de la chauffe à 200 °C des réchauffeurs/fouloirs utilisés dans les techniques de compactage vertical en vague unique. C'est pour cette raison qu'il faut éviter le contact de leur extrémité avec les parois du canal et le blocage apical. Cela peut également se produire lors du compactage vertical en technique de Schilder avec l'utilisation du *heat carrier* du système Touch and Heat® ou lorsqu'il est chauffé à la flamme, mais également pendant l'injection de gutta-percha préchauffée à 200 °C dans le « pistolet » ou, enfin, lors de l'usage en rotation du condenseur de gutta qui, par friction, plastifie le cône de gutta-percha.

Pour une température interne du canal de 60 °C (pistolet d'injection), la température externe est accrue de 8 à 9 °C. Pour une température interne de 45 à 80 °C (pour le *heat carrier* de la condensation verticale), la température externe est augmentée de 3 à 7 °C. Pour une température interne de 55 à 100 °C (thermocompacteur), la température externe est accrue de 14 à 35 °C (Schmalz, 2003).

L'élévation de température externe causée par le condenseur de gutta (Saunders, 1990) et le System B™ (McCullagh *et al.,* 2000) peut être de 15 à 30 °C.

Si, dans le cas du System B™ (et des systèmes équivalents), il suffit de s'assurer que le fouloir ne reste pas en contact avec les parois, dans le cas du thermocompactage, l'élévation de la température est inhérente à la technique.

Ces valeurs sont conditionnées par l'épaisseur de la dentine, la durée d'application et la vitesse de rotation (dans le cas du thermocompactage). La présence du ciment dans le canal contribue à limiter l'élévation de la température (Barkhodar *et al.,* 1990).

Pour les pistolets d'injection, bien que la température de chauffe s'effectue entre 160 et 200 °C, elle n'est que de 61 °C dans le canal et le processus de refroidissement est rapide. Il s'agit aussi de la température des tuteurs en plastique enrobés de gutta après passage au four.

C - Obturation des dents à *foramen* large

Les apex larges peuvent l'être du fait d'une résorption apicale importante sur une dent mature ou par suite de l'arrêt de l'édification radiculaire sur une dent immature qui s'est nécrosée à cause d'une carie profonde ou d'un traumatisme.

En général, quatre possibilités de traitement s'offrent au praticien : l'apexification par mise en place d'hydroxyde de calcium dans le canal, la mise en place d'un bouchon apical, le cône moulé et la chirurgie apicale.

6684_.indb 268 01/08/12 15:36

1 - Apexification à l'aide d'hydroxyde de calcium

Cette procédure est le plus souvent utilisée dans les cas de dents immatures.
Après mise en place du champ opératoire et réalisation de la cavité d'accès, le canal est nettoyé et irrigué. De l'hydroxyde de calcium est placé dans le canal au contact des tissus apicaux puis est renouvelé jusqu'à l'obtention d'une barrière apicale de tissu minéralisé. Une fois la barrière apicale obtenue, elle est utilisée pour « appuyer » l'obturation du canal qui est réalisée à la gutta-percha soit par injection, soit avec un cône moulé.
Dans le cas d'un canal large, la longueur du travail est e, les en présence d'une ouverture apicale importante. Les localisateurs d'apex ne peuvent pas être utilisés. La longueur de travail est déterminée par une radiographie avec un instrument de gros diamètre dans le canal.
Le canal est nettoyé avec des limes H de gros diamètre en appui sur les parois canalaires et par irrigation à l'hypochlorite de sodium à 2,5 ou 3 %. Il est ensuite séché puis rempli avec de l'hydroxyde de calcium pur ou en préparation commerciale (Pulpdent®, Calasept®, Hypocal®, Calxyl®), jusqu'au niveau coronaire.
Le mécanisme d'action de ce matériau impose un contact direct avec les tissus. Il est donc important de s'assurer qu'il est bien en contact avec les tissu périapicale tant le refouler dans la zone péri-apicale.
Afin d'empêcher la recontamination bactérienne pendant l'interséance, la cavité d'accès de la dent est ensuite obturée avec un matériau étanche, du type composite ou ciment verre ionomère (CVI).
Une radiographie de contrôle permet de vérifier que l'ensemble du canal a bien été rempli d'hydroxyde de calcium.
La durée moyenne nécessaire pour obtenir une barrière apicale de tissu dur est fonction du stade de développement de la dent, de la divergence des parois radiculaires et de la présence ou non d'une pathologie apicale. Il n'y a pas de véritable consensus sur la fréquence du renouvellement de l'hydroxyde de calcium (Rafter, 2005).
Néanmoins, le suivi régulier du patient, en général tous les 3 mois, est important. Il permet de vérifier, à l'aide d'une radiographie de contrôle, la dissolution éventuelle du matériau dans le canal et de suivre la formation de la barrière apicale.
L'hydroxyde de calcium peut alors être changé tous les 3 mois, jusqu'à l'obtention de la barrière apicale. À chaque séance, après pose du champ opératoire et élimination de l'obturation coronaire, il est supprimé du canal. Avec une lime de petit diamètre réglée à la longueur de travail, la zone apicale est délicatement sondée pour détecter la présence éventuelle de la barrière apicale. Si la fermeture apicale est présente et apparente à la radiographie, l'obturation du canal peut être envisagée. Si ce n'est pas le cas, le matériau est renouvelé et la cavité d'accès à nouveau obturée. La même procédure est répétée jusqu'à l'obtention de la barrière apicale.
L'apexification par renouvellement d'hydroxyde de calcium est une thérapeutique ancienne aux résultats éprouvés. Le taux de succès escompté est de 79 à 96 % (Andreasen et Andreasen, 1994). Elle présente néanmoins de nombreux inconvénients :
- le renouvellement du matériau doit se faire pendant plusieurs mois (parfois jusqu'à 2 ans) avec toutes les contraintes que cela implique au niveau de la coopération et du suivi du patient ;
- l'obturation définitive du canal et, donc, la restauration coronaire finale de la dent ne peuvent pas être réalisées tant que la barrière apicale n'a pas été obtenue. Les dents immatures (souvent les incisives), à parois radiculaires fines, non restaurées, sont sujettes aux fractures. De plus, des publications récentes (Andreasen *et al.,* 2002 ; Doyon *et al.,* 2005) mettent en évidence une diminution des propriétés mécaniques de la dentine lorsqu'elle est exposée longtemps à l'hydroxyde de calcium.

2 - Traitement par mise en place d'un bouchon de MTA

Pour pallier ces difficultés et ces risques, il a été envisagé d'utiliser un matériau permettant d'obtenir un bouchon apical solide et étanche en une séance, afin de permettre d'obturer rapidement la dent et de la restaurer.

L'avantage de la technique du bouchon apical est de pouvoir terminer le traitement en deux séances rapprochées, en assurant rapidement une restauration coronaire quasi immédiate de la dent, ce qui limite considérablement le risque de fracture.

Différents biomatériaux ont été proposés : collagène ou matériaux de comblement osseux. Bien qu'ils soient biocompatibles, leur mauvaise étanchéité n'en fait pas des matériaux de choix.
Les propriétés du ProRoot MTA® (étanchéité, biocompatibilité) l'ont imposé comme la solution idéale dans ce type d'indication *(fig. 12.15).*
Le principe du traitement est de créer une barrière apicale en plaçant un bouchon de ProRoot MTA® qui, une fois durci, permet de terminer le traitement endodontique lors d'une seconde séance et de restaurer alors la dent.
La fermeture apicale par un tissu dur (apexification) se fait ultérieurement, et directement au contact du matériau, avec la restitution d'un parodonte apical quasi normal (Shabahang *et al.,* 1993 ; Felippe *et al.,* 2006).

Cette technique trouve son indication principale dans les dents immatures, mais elle est aussi utilisée pour l'obturation des dents permanentes matures à apex résorbés par suite d'une pathologie apicale (Simon *et al.,* 2007). En effet, une obturation à la gutta (en technique classique ou en cône moulé) peut être envisagée sur des diamètres apicaux autour de 80 ou 90. Au-delà du diamètre 90, la gutta sera très difficile à contrôler et il est conseillé d'obturer ces dents avec un bouchon apical de MTA.

6684_.indb 269 01/08/12 15:36

Figure 12.15 Sachet de MTA **(a)** et matériel de placement **(b)** : un porte-amalgame stérile fin ou le MTA Gun® servent à déposer les incréments de MTA blanc dans le canal.

La technique est la suivante (Simon et Pertot, 2008).
Dans les cas de dents à apex larges *(fig. 12.16a et 12.16b),* les étapes de nettoyage et de désinfection canalaire sont identiques à celle décrites dans le paragraphe précédent.
Une fois la désinfection terminée et le canal séché avec des pointes de papier de gros diamètre, un fouloir de condensation verticale est essayé dans le canal. Il doit pénétrer sur toute la longueur du canal et sera utilisé pour pousser le MTA et le mettre en contact avec les tissus apicaux.
Un porte-matériau spécial, le MTA Gun®, est nécessaire pour déposer le matériau dans le canal. Sa taille est préalablement choisie pour permettre un dépôt le plus apical possible *(fig. 12.15).*
Le ProRoot MTA® mélangé sur une plaque de verre stérile est chargé dans le MTA Gun® puis est déposé le plus apicalement possible dans le canal. Il est amené alors délicatement au contact des tissus apicaux à l'aide du fouloir préalablement essayé et de cônes de papier de gros diamètre utilisés à l'envers.
Le ProRoot MTA® est un matériau qui ne doit pas être fortement condensé mais juste amené au contact des tissus apicaux. Une radiographie peut être réalisée pour contrôler la mise en place du matériau.
L'opération est renouvelée jusqu'à l'obtention d'un bouchon de 4 à 5 mm d'épaisseur qui permet d'assurer l'étanchéité apicale *(fig. 12.16c et 12.16d).*
Une éponge humidifiée et essorée est placée dans le canal et la cavité d'accès est obturée de façon provisoire.

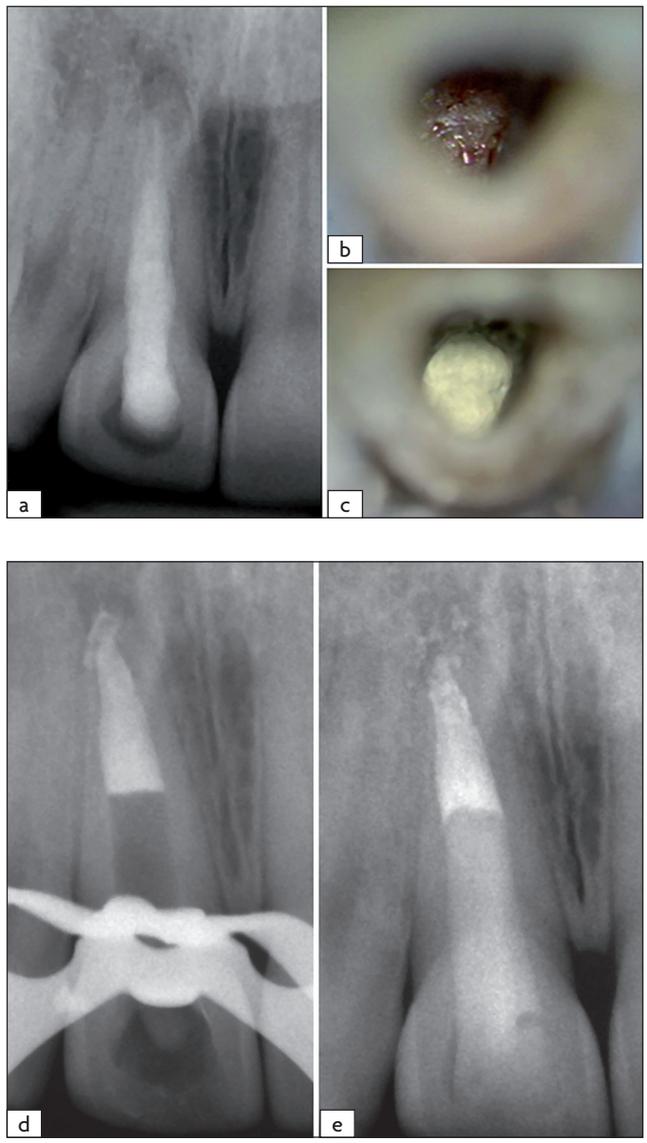


Figure 12.16 **a.** Retraitement de 11 à apex ouvert chez un adolescent. **b.** Vue clinique des tissus apicaux au microscope. **c.** Vue clinique du bouchon de MTA après placement à l'apex. **d.** Radiographie de contrôle du bouchon apical de MTA. **e.** La restauration corono-radiculaire fibrée et collée est placée lors d'une autre séance. Elle assure la consolidation de la dent.

Le canal ne doit jamais être obturé entièrement au ProRoot MTA®, celui-ci étant difficile à éliminer si une désobturation partielle s'avère nécessaire par la suite pour poser un ancrage radiculaire.
Au cours de la seconde séance, qui peut être réalisée dès le lendemain, le pansement provisoire est éliminé et la prise du ProRoot MTA® est vérifiée. Si un ancrage radiculaire n'est pas nécessaire, le reste du canal est obturé conventionnellement avec de la gutta-percha associée à un ciment de scellement.
Dans le cas des dents antérieures immatures, il est préférable de ne pas remonter l'obturation à la gutta au-delà de la jonc-

6684_.indb 270 01/08/12 15:36

tion amélo-cémentaire afin de permettre au matériau de restauration collé de pénétrer dans la racine sous le niveau de la crête osseuse et de renforcer ainsi les parois résiduelles très fines de ces dents *(fig. 12.16e)*.
Le passage par une interséance systématique d'hydroxyde de calcium avant la mise en place du bouchon apical de ProRoot MTA® ne présente pas d'intérêt thérapeutique. Les résultats en termes d'étanchéité sont inférieurs à ceux obtenus avec l'obturation au ProRoot MTA® dans la séance (Hachmeister *et al.,* 2002 ; Felippe *et al.,* 2006).
Les séances intermédiaires à l'hydroxyde de calcium ne sont réservées qu'aux cas où la présence d'un exsudat contre-indique l'obturation dans la séance.

3 - Obturation par la technique du cône moulé

La technique du cône moulé consiste à réaliser une empreinte du tiers apical avec de la gutta-percha de sorte que cette dernière puisse s'adapter à l'anatomie apicale particulière résultant de la résorption (apex large ou ovalaire). C'est la technique du *chloroform-dip* (littéralement « trempage dans le chloroforme »). Elle est indiquée dans des canaux dont le diamètre apical est situé entre 60 et 90 *(fig. 12.17a et 17b)*.

Dans ces cas, le cône de gutta est d'abord sectionné apicalement à un diamètre légèrement supérieur à celui de la préparation apicale. Ses 3 derniers millimètres sont trempés dans du chloroforme pendant 2 ou 3 secondes afin de ramollir la surface du cône *(fig. 12.17c)*. Le cône est alors placé dans le canal rempli d'hypochlorite, à la longueur de travail, et laissé en place pendant quelques secondes *(fig. 12.17d)*. La gutta ramollie du cône se moule ainsi à la forme exacte du tiers apical à obturer. Le cône est retiré et observé. Il est fréquent de distinguer la limite de préparation apicale *(fig. 12.17e)*. La gutta en dépassement est sectionnée. Le cône et le canal sont alors séchés et le cône, enduit de ciment, est mis en place et délicatement compacté *(fig. 12.17f)*.
Une variante de cette technique est aussi utilisée pour obturer la partie coronaire très large des canaux après avoir réalisé une apexification à l'hydroxyde de calcium ou après avoir placé un bouchon de MTA. Un très gros cône est confectionné en plaçant tête bêche plusieurs cônes de gutta. Ils sont délicatement ramollis avec une flamme puis sont fusionnés en les roulant entre deux plaques de verre ou à l'aide d'une spatule très large. La taille et le diamètre sont adaptés en fonction du canal à traiter. L'extrémité du cône est ensuite trempée dans le chloroforme afin de le mouler aux parois du canal.

Il est à noter que cette dernière technique du cône confectionné était proposée pour l'obturation directe des apex ouverts des dents immatures. Néanmoins, du fait de la difficulté de contrôle de l'étanchéité apicale sur les dents immatures, l'obturation à l'aide d'un bouchon de MTA est actuellement la règle.

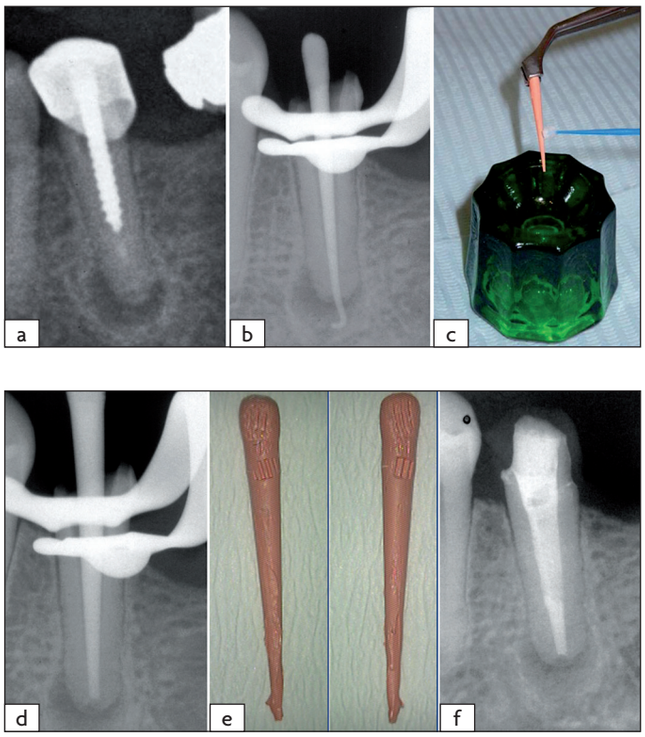


Figure 12.17 **a.** Radiographie préopératoire de 35 avec LIPOE et apex ouvert. **b.** Le cône de gutta dépasse apicalement. Le diamètre apical est évalué à 70. **c.** Le maître cône est ajusté par section, puis l'extrémité est badigeonnée de solvant. **d.** Le cône est replacé dans le canal rempli d'hypochlorite de sodium. **e.** Il est ressorti et a pris l'empreinte du tiers apical. Si une portion transfixe le *foramen,* elle est sectionnée. **f.** Le canal est séché puis le maître cône moulé, enduit de ciment à l'extrémité, est replacé totalement dans le canal. Il est sectionné et condensé au niveau coronaire. La restauration peut être placée.

4 - Obturation par l'endodontie chirurgicale

Dans le cas des apex ouverts, la décision d'une intervention par première intention peut être prise dans certains cas particuliers mais ne constitue pas la règle.
Sauf cas exceptionnels, la chirurgie n'est pas considérée comme une thérapeutique de première intention. En effet, son indication première est la gestion d'un échec éventuel d'un traitement par voie orthograde, même si d'autres indications peuvent être envisagées. Les indications et les règles de cette intervention sont décrites dans le chapitre consacré à la chirurgie.

III - Résultats

A - Complications de l'obturation

Outre les possibles réactions allergiques évoquées dans la première partie de ce chapitre, les complications sont essentiellement représentées par les dépassements de matériau, en particulier lorsque les sinus maxillaires et le nerf alvéolaire sont impliqués.

6684_.indb 271 01/08/12 15:36

Important ! Les dépassements ou excès de matériau dans le sinus peuvent avoir trois conséquences : une réaction à un corps étranger, un blocage de l'aération sinusienne par obstruction du méat et le développement d'une aspergillose intrasinusienne dont les conséquences peuvent être graves chez un patient immunodéprimé.

Les dépassements ou excès de matériau en contact avec le nerf alvéolaire inférieur sont en général volumineux et exercent leurs effets délétères non seulement chimiques, en raison de la composition du matériau (Brodin *et al.,* 1982 ; Orstavik *et al.,* 1983 ; Geursten et Leyhausen, 1997 ; LaBanc et Epker, 1984 ; Escoda-Francoli *et al.,* 2007), mais aussi thermiques et mécaniques, par compression directe (Fanibunda *et al.,* 1998). L'attitude thérapeutique lors d'un constat de dépassement au niveau du nerf alvéolaire inférieur est l'exérèse la plus rapide (Pogrel, 2007).
Ces dépassements sont provoqués par une erreur de diagnostic ou d'évaluation (perforation non identifiée ou diamètre apical sous-évalué, erreur de mise en forme et longueur de travail surévaluée) mais aussi et surtout par une technique d'obturation rotative mal contrôlée (Lentulo ou condenseur de gutta) *(fig. 12.18).* Ces erreurs peuvent être évitées par une évaluation correcte de la longueur de travail et par le contrôle des instruments au niveau apical afin d'éviter surinstrumentation et déchirure apicale, ainsi que par l'ajustage apical du cône de gutta avant obturation *(fig. 12.19).*

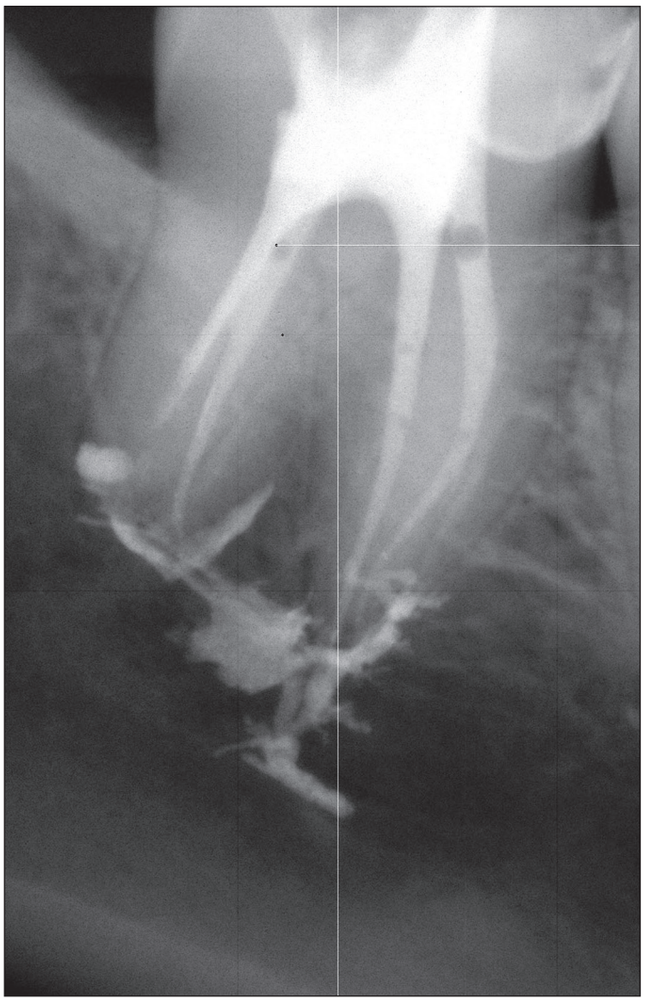


Figure 12.18 Important dépassement de matériau sur une 47 provoquée par un Lentulo ou un condenseur de gutta. Les risques de lésion du nerf alvéolaire sont importants.

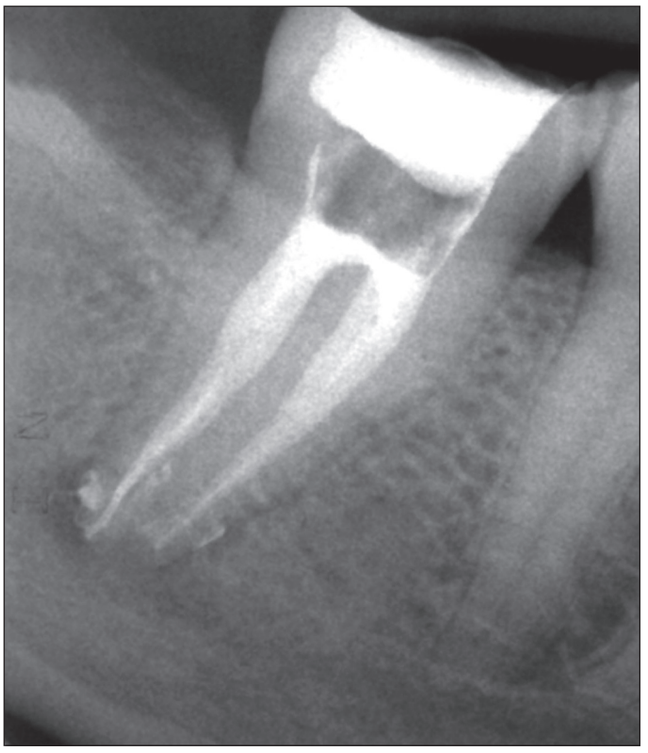


Figure 12.19 Proximité apicale du nerf alvéolaire inférieur sur 47. La mise en forme et l'ajustage du maître cône sont la clé. Lorsque le *foramen* est respecté, l'obturation est contrôlée et tridimensionnelle.

B - Étanchéité : notion évolutive et subjective

Il est question ici d'évoquer l'aspect et la stabilité, dans les conditions cliniques, de l'étanchéité évoquée sur le plan expérimental dans l'introduction. Il a été noté que tous les matériaux subissaient une dégradation biochimique dans le temps ainsi qu'une modification de leur structure et de leurs propriétés. La gutta-percha devient cassante en vieillissant (Katz *et al.,* 1987), la dentine se déforme sous la contrainte et sa résistance mécanique est altérée par le traitement endodontique et la perte d'émail (Zhang *et al.,* 2010).

Ces phénomènes peuvent contribuer à une perte de cohésion des interfaces et à une percolation de l'obturation. Cet élément est favorable à la mise en place d'une restauration corono-radiculaire étanche et d'une restauration coronaire périphérique à haut module d'élasticité qui se substitue à l'émail et oriente les contraintes sur le desmodonte en épargnant la dentine.

6684_.indb 272 01/08/12 15:36

Par ailleurs, le premier critère clinique d'évaluation d'une obturation est fondé non seulement sur sa longueur et sur sa densité, qui sont des critères très subjectifs (Schaeffer *et al.,* 2005), mais aussi sur la présence de canaux latéraux obturés. En aucun cas les notions d'asepsie de l'endodonte sont évoquées, tout simplement car elles sont impossibles à mesurer précisément dans la pratique clinique, surtout lors des études épidémiologiques, alors que ce paramètre est sans aucun doute l'élément fondamental. Force est de constater que ces notions échappent aux critères de la médecine fondée sur la preuve. Le simple examen des planches anatomiques (Vertucci, 2005) et des microscanners montre que, dans la plupart des cas, des nombreux canaux latéraux ne sont pas obturés, ce qui ne signe pas forcément un échec si le système canalaire a été correctement nettoyé. De même, l'obturation d'un ou de plusieurs canaux latéraux, même si elle indique une obturation théoriquement plus tridimensionnelle et peut aboutir à la cicatrisation *(fig. 12.20),* ne signifie pas que leur totalité a été traitée et n'est pas synonyme de succès *(fig. 12.21).*

C - Données épidémiologiques

Une brève consultation des publications sur le sujet permet de mettre en avant quelques remarques relatives aux facteurs susceptibles d'influencer le résultat et concernant directement l'obturation :

- à part une seule étude clinique qui a suggéré que la condensation verticale permettait d'obtenir de meilleurs résultats (Friedman *et al.,* 2003 ; Farzaneh *et al.,* 2004 ; de Chevigny *et al.,* 2008), il n'y a pas de technique d'obturation véritablement supérieure en termes de pronostic. Par ailleurs, cette étude compare deux concepts complets de mise en forme et d'obturation : technique d'élargissement apical et obturation en condensation latérale à froid, et technique de conicité apicale et obturation en compactage vertical à chaud. Aucune étude clinique ne porte sur l'effet de l'obturation dans des conditions de mise en forme identique ;
- les facteurs les plus importants semblent être l'état pulpaire et ~~péri-apical~~ préopératoire (Sjögren *et al.,* 1990 ; Smith *et al.,* 1993).
- concernant les aspects techniques, le niveau de l'obturation pourrait être le facteur qui semble influencer le plus le pronostic (Sjögren *et al.,* 1990 ; Smith *et al.,* 1993). Néanmoins, les techniques de mise en forme décrites dans ces publications étant différentes, des conclusions définitives sont impossibles à tirer.

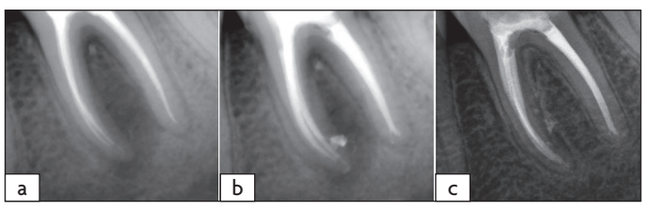


Figure 12.20 **a.** Radiographie préopératoire d'une molaire mandibulaire avec lésion apicale et interradiculaire. **b.** Radiographie postopératoire immédiate avec obturation de canaux latéraux dans la furcation. **c.** Radiographie de contrôle 2 ans postopératoires montrant la cicatrisation complète de la lésion.

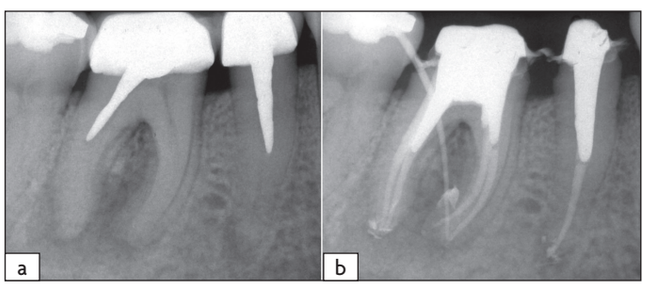


Figure 12.21 Radiographie du retraitement sur 45 et 46. Malgré le traitement et l'obturation d'un second canal distal ainsi que de canaux latéraux, l'échec est matérialisé à 3 mois postopératoires par la présence d'une fistule dont le trajet est matérialisé par un cône de gutta-percha. Sont-ils tous obturés ou bien la cause est-elle extra-radiculaire ?

Important ! **En effet, il est impossible de tirer des conclusions en comparant les résultats obtenus lorsque le dépassement est dû à une surextension (par suite d'erreurs de longueur de travail ou d'ajustage du maître cône dans une technique de mise en forme avec stop apical) avec un dépassement consécutif à un *puff* de ciment de scellement. Ce dernier résultant d'un compactage vertical de gutta après mise en forme en technique de conicité apicale a permis de sceller le canal apicalement.**

Par conséquent, quelques remarques complémentaires à ces publications s'imposent :

- l'état initial des cas fait surtout allusion à la présence d'une infection ou d'une lésion ~~péri-apicale~~ mais n'évoque pas la présence, fréquente, d'une résorption apicale initiale qui peut l'accompagner. Celle-ci influence le diamètre du *foramen* à obturer et, de fait, la présence d'un dépassement associé à une infection. Cette résorption ainsi que le diamètre et la configuration du *foramen* sont difficiles à évaluer sur la radiographie préopératoire ;
- l'examen radiographique sur lequel reposent les études épidémiologiques est très subjectif, ce n'est qu'une image bidimensionnelle et il n'a pas la capacité d'évaluer la qualité du scellement à l'échelle bactérienne ;
- cet examen ne prend pas en compte la qualité de la mise en forme (voir la partie sur la surextension et le déplacement du *foramen*) et de la désinfection ;
- Kirkevang *et al.* (2007) ont montré, dans une étude épidémiologique, que la qualité de l'obturation n'a pas d'incidence sur le développement d'une LIPOE mais qu'elle influence sa cicatrisation. En d'autres termes, une obturation de qualité va favoriser la cicatrisation des lésions ;
- si le dépassement diminue le taux de succès et que la majorité des matériaux modernes d'obturation sont biocompatibles, c'est que le facteur prépondérant est bien ailleurs. Sjögren *et al.* (1990) ont précisé que le dépassement durant un retraitement avec LIPOE était associé à 60 % d'échecs et qu'en l'absence de LIPOE, il ne l'est plus qu'à 20 %. Le dépas-

6684_.indb 273 01/08/12 15:36

sement n'est pas le facteur prépondérant et les infections résiduelles sont bien les premières visées et les causes majeures des échecs ;

- enfin si nous analysons les différentes situations apicales possibles après obturation et en fonction des différentes théories de mise en forme et de longueur de travail, cinq états sont à considérer :
  - cas pour lesquels la limite apicale est courte et comprise entre le *foramen* et 2 mm :
    - il existe de la pulpe résiduelle à l'apex. Si elle est vivante et aseptique, elle peut se minéraliser et oblitérer le *foramen,* bref, cicatriser si elle n'est pas contaminée durant le traitement (Baume *et al.,* 1971a et 1971b). Si elle est contaminée, aucune cicatrisation ne peut être espérée et une LIPOE s'installe. La certitude clinique de l'état pulpaire est dans les deux cas difficile, voire impossible à établir,
    - il existe un bouchon apical de copeaux dentinaires. Ils peuvent se minéraliser et induire la fermeture apicale si la pulpe était vitale (Tronstad, 1978). À défaut, et en présence de bactéries, une LIPOE va s'installer. Le contrôle clinique de l'antisepsie est ici aussi difficile,
    - il existe un « vide » apical mais le canal est scellé. En l'absence de bactéries, les tissus parodontaux vont coloniser l'espace et induire la cicatrisation (Holland *et al.,* 1979). Cela est impossible s'il persiste des bactéries dans le vide apical et/ou en l'absence de scellement (sous-extension) ; la pathologie peut alors s'installer. Encore une fois, cette situation n'est pas cliniquement contrôlable. ~~La situation est similaire pour la sous-obturation,~~
  - cas pour lesquels l'obturation dépasse le *foramen :*
    - si le *foramen* est altéré, le scellement est difficilement contrôlable et inexistant (surextension), les fluides apicaux vont servir de nutriment aux bactéries résiduelles (*cf.* le début de chapitre) qui peuvent alors engendrer une LIPOE,
    - le *foramen* n'est pas altéré, il a été perméabilisé durant la mise en forme qui est conique, le matériau peut alors, sous l'effet de la compaction, déborder le *foramen* mais le sceller de manière optimale et permettre la cicatrisation (Lin *et al.,* 1992 ; Kirkevang *et al.,* 2007). Cette situation est cliniquement contrôlable et représente l'objectif recherché.

IV - Conclusion

L'obturation est indissociable de la qualité de la mise en forme, mais aussi de la restauration coronaire *(fig. 12.22).*
La biocompatibilité est un facteur prédominant dans le choix des matériaux utilisés.
Les techniques d'obturation à privilégier sont celles qui permettent une obturation tridimensionnelle et un scellement apical étanche. Ce sont essentiellement celles reposant sur le compactage de la gutta chaude associé à un ciment de scellement.

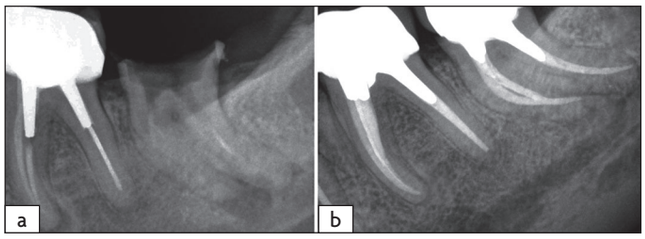


Figure 12.22 Radiographies préopératoires et postopératoires du retraitement de 36 et de 37. La cicatrisation puis la pérennité du résultat sont obtenues par une mise en forme et une irrigation abondante permettant la désinfection, puis par l'obturation tridimensionnelle et la qualité de la restauration corono-radiculaire et prothétique.

Bibliographie

Al-Hezaimi K, Al-Hamdan K, Naghshbandi J, Oglesby S, Simon JH, Rotstein I. Effect of white-colored mineral trioxide aggregate in different concentrations on *Candida albicans in vitro*. J Endod 2005 ; 31 : 684-686.

Al-Hezaimi K, Naghshbandi J, Oglesby S, Simon JH, Rotstein I. Comparison of antifungal activity of white-colored and gray-colored mineral trioxide aggregate (MTA) at similar concentrations against *Candida albicans.* J Endod 2006 ; 32 : 365-367.

Andelin WE, Shabahang S, Wright K, Torabinejad M. Identification of hard tissue after experimental pulp capping using dentin sialoprotein (DSP) as a marker. J Endod 2003 ; 29 : 646-650.

Andreasen JO, Andreasen FM. Textbook and colored atlas of traumatic injuries to the teeth. Copenhague : Munksgaard, 1994.

Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of fracture. Endod Dent Traumatol 2002 ; 18 : 134-137.

Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Brink F. A comparative study of white mineral trioxide aggregate and white Portland cements using X-ray microanalysis. Aust Endod J 2004 ; 30 : 89-92.

Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Ghoddusi J, Eskandarizadeh A. SEM evaluation of neodentinal bridging after direct pulp protection with mineral trioxide aggregate. Aust Endod J 2006a ; 32 : 26-30.

6684_.indb 274 01/08/12 15:36

Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Stowe S, Brink F. A qualitative X-ray analysis of white and grey mineral trioxide aggregate using compositional imaging. J Mater Sci Mater Med 2006b ; 17 : 187-191.

Baek SH, Plenk H Jr, Kim S. Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, SuperEBA, and MTA as root-end filling materials. J Endod 2005 ; 31 : 444-449.

Baldensperger R, Buquet J. Histoire de l'endodontie de ses origines au début de notre siècle. Bull Acad Nat Chir Dent 1984-1985 ; 30 : 49-65.

Barkin ME, Boyd JP, Cohen S. Acute allergic reaction to eugenol. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1984 ; 57 : 441-442.

Barkhordar RA, Goodis HE, Watanabe L, Koumdjian J. Evaluation of temperature rise on the outer surface of teeth during root canal obturation techniques. Quintessence Int 1990 ; 21 : 585-588.

Barthel CR, Moshonov J, Shuping G, Orstavik D. Bacterial leakage versus dye leakage in obturated root canals. Int Endod J 1999 ; 32 : 370-375.

Baume LJ, Holz J, Risk LB. Radicular pulpotomy for category 3 pulps. II. Instrumentation and technique. J Prosthet Dent 1971a ; 25 : 525-531.

Baume LJ, Holz J, Risk LB. Radicular pulpotomy of category 3 pulps. 3. Histologic evaluation. J Prosthet Dent 1971b ; 26 : 649-657.

Bernabé PFE, Gomes-Filho JE, Rocha WC, Nery MJ, Otoboni-Filho JA, Dezan-Junior E. Histological evaluation of MTA as a root-end filling material. Int Endod J 2007 ; 40 : 758-765.

Biggs SG, Knowles KI, Ibarrola JL, Pashley DH. An *in vitro* assessment of the sealing ability of resilon/epiphany using fluid filtration. J Endod 2006 ; 32 : 759-761.

Boiesen J, Brodin P. Neurotoxic effect of two root canal sealers with calcium hydroxide on rat phrenic nerve *in vitro*. Endod Dent Traumatol 1991 ; 7 : 242-245.

Bonson S, Jeansonne BG, Lallier TE. Root-end filling materials alter fibroblast differentiation. J Dent Res 2004 ; 83 : 408-413.

Bortoluzzi EA, Broon NJ, Bramante CM, Garcia RB, de Moraes IG, Bernardineli N. Sealing ability of MTA and radiopaque Portland cement with or without calcium chloride for root-end filling. J Endod 2006 ; 32 : 897-900.

Boxer MB, Grammer LC, Orfan N. Gutta-percha allergy in a health care worker with latex allergy. J Allergy Clin Immunol 1994 ; 93 : 943-944.

Bouillaguet S, Wataha JC, Tay FR, Brackett MG, Lockwood PE. Initial *in vitro* biological response to contemporary endodontic sealers. J Endod 2006 ; 32 : 989-992.

Bratel J, Jontell M, Dahlgren U, Bergenholtz G. Effects of root canal sealers on immunocompetent cells *in vitro* and *in vivo*. Int Endod J 1998 ; 31 : 178-188.

Braun JJ, Zana H, Purohit A, Valfrey J, Scherer P, Hai kel Y *et al.* Anaphylactic reaction to formaldehyde in root canal sealant after endodontic treatment : four cases of anaphylactic shock and three of generalized urticaria. Allergy 2003 ; 58 : 1210-1215.

Brodin P. Neurotoxic and analgesic effects of root canal cements and pulp-protecting dental materials. Endod Dent Traumatol 1988 ; 4 : 1-11.

Brodin P, Røed A, Aars H, Orstavik D. Neurotoxic effects of root filling materials on rat phrenic nerve *in vitro*. J Dent Res 1982 ; 61 : 1020-1023.

Buchanan LS. The continuous wave of condensation technique : a convergence of conceptual and procedural advances in obturation. Dent Today 1994 ; 13 : 10 ; 80-85.

Byström A, Claesson R, Sundqvist G. The antibacterial effect of camphorated paramonocholorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. Endod Dent Traumatol 1985 ; 1 : 170-175.

Camilleri J. Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. Int Endod J 2007 ; 40 : 462-470.

Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. Dent Mater 2005 ; 21 : 297-303.

Camps J, Pashley D. Buffering action of human dentine. J Adhes Dent 2000 ; 2 : 39-50.

Card SJ, Sigurdsson A, Orstavik D, Trope M. The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria. J Endod 2002 ; 28 : 779-783.

Cardoso CL, Kotaka CR, Redmerski R, Guilhermetti M, Queiroz AF. Rapid decontamination of gutta percha cones with sodium hypochlorite. J Endod 1999 ; 25 : 498-501.

Carvalho-Junior JR, Guimaraes LF, Correr-Sobrinho L, Pecora JD, Sousa-Neto MD. Evaluation of solubility, disintegration, and dimensional alterations of a glass ionomer root canal sealer. Braz Dent J 2003 ; 14 : 114-118.

Cassanho AC, Fernandes AM, Oliveira LD, Carvalho CA, Jorge AO, Koga-Ito CY. *In vitro* activity of zinc oxide-eugenol and glass ionomer cements on *Candida albicans.* Braz Oral Res 2005 ; 19 : 134-138.

Chailertvanitkul P, Saunders WP, Mackenzie D. An assessment of microbial coronal leakage in teeth root filled with gutta-percha and three different sealers. Int Endod J 1996 ; 29 : 387-392.

Chen CL, Huang TH, Ding SJ, Shie MY, Kao CT. Comparison of calcium and silicate cement and mineral trioxide aggregate biologic effects and bone markers expression in MG63 cells. J Endod 2009 ; 35 : 682-685.

Chogle S, Mickel AK, Chan DM, Huffaker K, Jones JJ. Intracanal assessment of mineral trioxide aggregate setting and sealing properties. Gen Dent 2007 ; 55 : 306-311.

Civjan S, Brauer GM. Physical properties of cements, based on zinc oxide, hydrogenated rosin, o-ethoxybenzoic acid, and eugenol. J Dent Res 1964 ; 43 : 281-299.

Conner DA, Caplan DJ, Teixeira FB, Trope M. Clinical outcome of teeth treated endodontically with a nonstandardized protocol and root filled with resilon. J Endod 2007 ; 33 : 1290-1292.

Dahl JE. Toxicity of endodontic filling materials. Endodontic Topics 2005 ; 12 : 39-43.

Dammaschke T, Gerth HU, Züchner H, Schäfer E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. Dent Mater. 2005 ; 21 : 731-738.

de Chevigny C, Dao TT, Basrani BR, Marquis V, Farzaneh M, Abitbol S *et al.* Treatment outcome in endodontics : the Toronto study. Phase 4 : initial treatment. J Endod 2008 ; 34 : 258-263.

De Moor R, Martens LC. Apical microleakage after lateral condensation, hybrid gutta-percha condensation and Soft-Core obturation : an *in vitro* evaluation. Endod Dent Traumatol 1999 ; 15 : 239-243.

6684_.indb 275 01/08/12 15:36

De Moor, De Boever. The sealing ability of an epoxy resin root canal sealer used with five gutta-percha obturation techniques. Endod Dent Traumatol 2000 ; 16 : 291-297.

de Oliveira DP, Barbizam JV, Trope M, Teixeira FB. Comparison between gutta-percha and resilon removal using two different techniques in endodontic retreatment. J Endod 2006 ; 32 : 362-364.

Dorn S, Gartner AH. Retrograde filling materials : a retrospective success-failure study of amalgam, EBA and IRM. J Endod 1990 ; 16 : 391-393.

Doyon GE, Dumsha T, Von Fraunhofer JA. Fracture resistance of human root dentin exposed to intracanal calcium hydroxide. J Endod 2005 ; 31 : 895-897.

Duarte MA, Demarchi AC, Yamashita JC, Kuga MC, Fraga Sde C. pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2003 ; 95 : 345-347.

Economides N, Kostavi-Kovasti VP, Poupopoulos A, Kolokuris I, Rozos G, Shore R. Experimental study of the biocompatibility of four root canal sealers and their influence on the zinc and the calcium content of several tissues. J Endod 1995 ; 21 : 122-127.

Eldeniz AU, Hadimli HH, Ataoglu H, Orstavik D. Antibacterial effect of selected root-end filling materials. J Endod 2006 ; 32 : 345-349.

Eriksson AR, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury : a vital-microscopic study in the rabbit. J Prosthet Dent 1983 ; 50 : 101-107.

Ersev H, Schmalz G, Bayirli G, Schweikl H. Cytotoxic and mutagenic potencies of various root-canal filling materials in eukaryotic and prokaryotic cells *in vitro*. J Endod 1999 ; 25 : 359-363.

Escoda-Francoli J, Canalda-Sahli C, Soler A, Figueiredo R, Gay-Escoda C. Inferior alveolar nerve damage because of overextended endodontic material : a problem of sealer cement biocompatibility ? J Endod 2007 ; 33 : 1484-1489.

Evans M, Davies JK, Sundqvist G, Figdor D. Mechanisms involved in the resistance of *Enterococcus faecalis* to calcium hydroxide. Int Endod J 2002 ; 35 : 221-228.

Fanibunda KB. Adverse response to endodontic material containing paraformaldehyde. Br Dent J 1984 ; 157 : 231-235.

Fanibunda K, Whitworth J, Steele J. The management of thermomechanically compacted gutta percha extrusion in the inferior dental canal. Br Dent J 1 998 ; 184 : 330-332.

Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S. Treatment outcome in endodontics. The Toronto Study. Phase II : initial treatment J Endod 2004 ; 30 : 302-309.

Felippe W, Felippe M, Rocha MJC. The effect of mineral trioxide aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. Int Endod J 2006 ; 39 : 2-9.

Fernández-Yáñez Sánchez A, Leco-Berrocal MI, Martínez-González JM. Metaanalysis of filler materials in periapical surgery. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 2008 ; 13 : 180-185.

Figini F, Lodi G, Gorni F, Gagliani M. Single versus multiple visits for endodontic treatment of permanent teeth : a Cochrane systematic review. J Endod 2008 ; 34 : 1041-1047

Fischer EJ, Arens DE, Miller CH. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and Super-EBA as root-end filling material. J Endod 1998 ; 24 : 176-179.

Fridland M, Rosado R. MTA solubility : a long term study. J Endod 2005 ; 31 : 376-379.

Friedman S, Torneck CD, Komorowski R, Ouzounian Z, Syrtash P, Kaufman A. *In vivo* model for assessing the functional efficacy of endodontic filling materials and techniques. J Endod 1997 ; 23 : 557-561.

Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics. The Toronto Study. Phase I : initial treatment. J Endod 2003 ; 29 : 787-793.

Gancedo-Caravia L, Garcia-Barbero E. Influence of humidity and setting time on the push-out strength of mineral trioxide aggregate obturations. J Endod 2006 ; 32 : 894-896.

Gençoglu N, Türkmen C, Ahiskali R. A new silicon-based root canal sealer (Roekoseal-Automix). J Oral Rehabil 2003 ; 30 : 753-757.

Geurtsen W, Leyhausen G. Biological aspects of root canal filling materials-histocompatibility, cytotoxicity, and mutagenicity. Clin Oral Investig 1997 ; 1 : 1-11.

Gomes BP, Lilley JD, Drucker DB. Variations in the susceptibilities of components of the endodontic microflora to biomechanical procedures. Int Endod J 1996 ; 29 : 235-241.

Graham L, Cooper PR, Cassidy N, Nor JE, Sloan AJ, Smith AJ. The effect of calcium hydroxide on solubilisation of bio-active dentine matrix components. Biomaterials 2006 ; 27 : 2865-2873.

Grigoratos D, Knowles J, Ng YL, Gulabivala K. Effect of exposing dentine to sodium hypochlorite and calcium hydroxide on its flexural strength and elastic modulus. Int Endod J 2001 ; 34 : 113-119.

Grossman LI. Endodontic practice. Philadelphie : Lea and Febiger, 1970.

Haapasalo HK, Sirén EK, Waltimo TM, Ørstavik D, Haapasalo MP. Inactivation of local root canal medicaments by dentine : an *in vitro* study. Int Endod J 2000 ; 33 : 126-131.

Hachmeister DR, Schindler WG, Thomas DD. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. J Endod 2002 ; 28 : 386-390.

Hakki SS, Bozkurt SB, Hakki EE, Belli S. Effects of mineral trioxide aggregate on cell survival, gene expression associated with mineralized tissues, and biomineralization of cementoblasts. J Endod 2009 ; 35 : 513-519.

Ham KA, Witherspoon DE, Gutmann JL, Ravindranath S, Gait TC, Opperman LA. Preliminary evaluation of BMP-2 expression and histological characteristics during apexification with calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate. J Endod 2005 ; 31 : 275-279.

Hamann C, Rodgers PA, Alenius H, Halsey JF, Sullivan K. Cross-reactivity between gutta-percha and natural rubber latex : assumptions vs. reality. J Am Dent Assoc 2002 ; 133 : 1357-1367.

Hashem AA, Hassanien EE. ProRoot MTA, MTA-Angelus and IRM used to repair large furcation perforations : sealability study. J Endod 2008 ; 34 : 59-61.

Heling I, Chandler NP. The antimicrobial effect within dentinal tubules of four root canal sealers. J Endod 1996 ; 22 : 257-259.

Hermann BW. Calciumhydroxide als mittel zum Behandel und Füllungen von Zahnwurzlkanälen. Medical Diss. V. Würzburg, 1920.

Ho YC, Huang FM, Chang YC. Mechanism of cytotoxicity of eugenol in human osteoblastic cells *in vitro*. Int Endod J 2006 ; 39 : 389-393.

6684_.indb 276 01/08/12 15:36

Holland GR. A histological comparison of periapical inflammatory and neural responses to two endodontic sealers in the ferret. Arch Oral Biol 1994 ; 39 : 539-544.

Holland R, Nery MJ, de Mello W, de Souza V, Bernabé PF, Otoboni Filho JA. Root canal treatment with calcium hydroxide. II. Effect of instrumentation beyond the apices. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1979 ; 47 : 93-96.

Holland R, de Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabe PF, Dezan E. Mineral trioxide aggregate repair of lateral root perforations. J Endod 2001 ; 27 : 281-284.

Hovland EJ, Dumsha TC. Leakage evaluation *in vitro* of the root canal sealer cement Sealapex. Int Endod J 1985 ; 18 : 179-182.

Huang TIS, Kao CT. pH measurement of root canal sealers. J Endod 1998 ; 24 : 236-238.

Huang TH, Yang JJ, Li H, Kao CT. The biocompatibility evaluation of epoxy resin-based root canal sealers *in vitro*. Biomaterials 2002 ; 23 : 77-83.

Huang TH, Yang CC, Ding SJ, Yeng M, Kao CT, Chou MY. Inflammatory cytokines reaction elicited by root-end filling materials. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 2005 ; 73 : 123-128.

Hume WR. The pharmacological and toxicological properties of zinc oxide-eugenol. J Am Dent Assoc 1986 ; 113 : 789-791.

Huumonen S, Lenander-Lumikari M, Sigurdsson A, Orstavik D. Healing of apical periodontitis after endodontic treatment : a comparison between a silicone-based and a zinc oxide-eugenol-based sealer. Int Endod J 2003 ; 36 : 296-301.

Ingle JL, Bakland LK. The Washington study in endodontics. Philadelphie : Lea and Febiger, 1965.

Iwamoto CE, Adachi E, Pameijer CH, Barnes D, Romberg EE, Jefferies S. Clinical and histological evaluation of white ProRoot MTA in direct pulp capping. Am J Dent 2006 ; 19 : 85-90.

Jou YT, Karabucak B, Levin J, Liu D. Endodontic working width : current concepts and techniques. Dent Clin North Am 2004 ; 48 : 323-335.

Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1965 ; 20 : 340-349.

Kanerva L, Estlander T, Jolanki R. Dental nurse's occupational allergic contact dermatitis from eugenol used as a restorative dental material with polymethylmethacrylate. Contact Dermatitis 1998 ; 38 : 339-340.

Katz A, Tagger M, Tamse A. Rejuvenation of brittle gutta-percha cones. A universal technique ? J Endod 1987 ; 13 : 65-68.

Kayahan MB, Nekoofar MH, KazandaÐ M, Canpolat C, Malkondu O, Kaptan F *et al.* Effect of acid-etching procedure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate. Int Endod J 2009 ; 42 : 1004-1014.

Keiser K, Johnson CC, Tipton DA. Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. J Endod 2000 ; 26 : 288-291.

Key JE, Rahemtulla FG, Eleazer PD. Cytotoxicity of a new root canal filling material on human gingival fibroblasts. J Endod 2006 ; 32 : 756-758.

Kirkevang LL, Vaeth M, Hörsted-Bindslev P, Bahrami G, Wenzel A. Risk factors for developing apical periodontitis in a general population. Int Endod J 2007 ; 40 : 290-299.

Khongkhunthian P, Reichart PA. Aspergillosis of the maxillary sinus as a complication of overfilling root canal material into the sinus : report of two cases. J Endod 2001 ; 27 : 476-478.

Kolokouris I, Economides N, Beltes P, Vlemmas I. Experimental study of the biocompatibility of a glass-ionomer root canal sealer. J Endod 1996 ; 22 : 395-398.

Kolokouris I, Economides N, Beltes P, Vlemmas I. *In vivo* comparison of the biocompatibility of two root canal sealers implanted into the subcutaneous connective tissue of rats. J Endod 1998 ; 24 : 82-85.

Komabayashi T, Spångberg LS. Comparative analysis of the particle size and shape of commercially available mineral trioxide aggregates and Portland cement : a study with a flow particle image analyzer. J Endod 2008 ; 34 : 94-98.

Kontakiotis EG, Wu MK, Wesselink PR. Effect of sealer thickness on long-term sealing ability : a 2-year follow-up study. Int Endod J 1997 ; ; 30 : 307-312.

Kozam G. The effect of eugenol on nerve transmission. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1977 ; 44 : 799-805.

LaBanc JP, Epker BN. Serious inferior alveolar nerve dysesthesia after endodontic procedure : report of three cases. J Am Dent Assoc 1984 ; 108 : 605-607.

Lambrianidis T, Tosounidou E, Tzoanopoulou M. The effect of maintaining apical patency on periapical extrusion. J Endod 2001 ; 27 : 696-698.

Laurent P, Camps J, De Méo M, Déjou J, About I. Induction of specific cell responses to a Ca (3) SiO (5)-based posterior restorative material. Dent Mater 2008 ; 24 : 1486-1494.

Laws AJ. Calcium hydroxide as a possible root filling material. N Z Dent J 1962 : 58 : 199-215.

Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. J Endod 1993 ; 19 : 541-544.

Lee YY, Yang SF, Ho WH, Lee YH, Hung SL. Eugenol modulates cyclooxygenase-2 expression through the activation of nuclear factor kappa B in human osteoblasts. J Endod 2007 ; 33 : 1177-1182.

Leonardo MR, da Silva LA, Filho MT, da Silva R. Release of formaldehyde by 4 endodontic sealers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1999 ; 88 : 221-225.

Leyhausen G, Heil J, Reifferscheid G, Waldmann P, Geursten W. Genotoxicity and cytotoxicity of the epoxy resin-based sealer AH Plus. J Endod 1999 ; 25 : 109-113.

Lin LM, Skribner JE, Gaengler P. Factors associated with endodontic treatment failures. J Endod 1992 ; 18 : 625-627.

Lucena-Martín C, Ferrer Luque CM, González-Rodríguez MP, Robbles-Jigon V, Navajas-Rodríguez de Mondelo JM. A Comparative study of apical leakage of Endomethasone, Top Seal, and Roeko Seal sealer cements. J Endod 2002 ; 28 : 423-426.

Machtou P. L'obturation canalaire. *In* : Endodontie. Rueil-Malmaison : CdP, 1993 : 183-214.

Machtou P. Étanchéité apicale versus étanchéité coronaire. Real Clin 2004 ; 15 : 5-20.

Main C, Mirzayan N, Shabahang S, Torabinejad M. Repair of root perforations using mineral trioxide aggregate : a long-term study. J Endod 2004 ; 30 : 80-83.

Markowitz K, Moynihan M, Liu M, Kim S. Biological properties of eugenol and zinc oxide-eugenol. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1992 ; 73 : 729-737.

6684_.indb 277 01/08/12 15:36

Marmasse A. Dentisterie opératoire. Tome 1. Thérapeutique endodontique. Paris : J.B. Ballière, 1974.

Masuda YM, Wang X, Hossain M, Unno A, Jayawardena JA, Saito K *et al.* Evaluation of biocompatibility of mineral trioxide aggregate with an improved rabbit ear chamber. J Oral Rehabil 2005 ; 32 : 145-150.

Matthews JD Jr. Pink teeth resulting from Russian endodontic therapy. J Am Dent Assoc 2000 ; 131 : 1598-1599.

McCullagh JJ, Setchell DJ, Gulabivala K, Hussey DL, Biagioni P, Lamey PJ *et al.* A comparison of thermocouple and infrared thermographic analysis of temperature rise on the root surface during the continuous wave of condensation technique. Int Endod J 2000 ; 33 : 326-332.

Melker KB, Vertucci FJ, Rojas MF, Progulske-Fox A, Bélanger M. Antimicrobial efficacy of medicated root canal filling materials. J Endod 2006 ; 32 : 148-151.

Meryon SD, Johnson SG, Smith AJ. Eugenol release and the cytotoxicity of different zinc oxide-eugenol combination. J Dent 1988 ; 16 : 66-70.

Miletić I, Devčić N, Anić I, Borčić J, Karlović Z, Osmak M. The cytotoxicity of Roeko Seal and AH Plus compared during different setting periods. J Endod 2005 ; 31 : 307-309.

Molander A, Warfvinge J, Reit C, Kvist T. Clinical and radiographic evaluation of one- and two-visit endodontic treatment of asymptomatic necrotic teeth with apical periodontitis : a randomized clinical trial. J Endod 2007 ; 33 : 1145-1148.

Möller AJ, Fabricius L, Dahlén G, Ohman AE, Heyden G. Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. Scand J Dent Res 1981 ; 89 : 475-484.

Moorer WR, Genet JM. Antibacterial activity of gutta-percha cones attributed to the zinc oxide component. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1982 ; 53 : 508-517.

Moretton TR, Brown CE Jr, Legan JJ, Kafrawy AH. Tissue reactions after subcutaneous and intraosseous implantation of mineral trioxide aggregate and ethoxybenzoic acid cement. J Biomed Mater Res 2005 ; 52 : 528-533.

Murray PE, Hafez AA, Smith AJ, Cox CF. Identification of hierarchical factors to guide clinical decision making for successful long-term pulp capping. Quintessence Int 2003 ; 34 : 61-70.

Nair PNR, Duncan HF, Pitt Ford TR, Luder HU. Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate : a randomized controlled trial. Int Endod J 2008 ; 41 : 128-150.

Nandini S, Ballal S, Kandaswamy D. Influence of glass-ionomer cement on the interface and setting reaction of mineral trioxide aggregate when used as a furcal repair material using laser Raman spectroscopic analysis. J Endod 2007 ; 33 : 167-172.

Nekoofar MH, Stone DF, Dummer PM. The effect of blood contamination on the compressive strength and surface microstructure of mineral trioxide aggregate. Int Endod J 2010 ; 43 : 782-791.

Onay EO, Ungor M, Hasan Orucoglu H. An *in vitro* evaluation of the apical sealing ability of a new resin-based root canal obturation system. J Endod 2006 ; 32 : 976-978.

Orstavik D. Antibacterial properties of endodontic materials. Int Endod J 1988 ; 21 : 161-169.

Orstavik D. Materials used for root canal obturation. Endod Topics 12 ; 2005 ; 25-38.

Orstavik D, Brodin P, Aas E. Paraesthesia following endodontic treatment : survey of the literature and report of a case. Int Endod J 1983 ; 16 : 167-172.

Oynick J, Oynick T. A study of a new material for retrograde fillings. J Endod 1978 ; 4 : 203-206.

Özok AR, van der Sluis L, Wu MK, Wesselink P. Sealing ability of a new polymethylsiloxane-based root canal filling material. J Endod 2008 ; 34 : 204-207.

Paqué F, Sirtes G. Apical sealing ability of Resilon/Epiphany versus gutta-percha/AH Plus : immediate and 16-months leakage. Int Endod J 2007 ; 40 : 722-729.

Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate : a comprehensive literature review. Part I : Chemical, physical, and antibacterial properties. J Endod 2010 ; 36 : 16-27.

Peli JF, de Jaureguiberry M, Oriez D, Peli-Joineau C. Compactages latéral et thermomécanique combinés : intérêt clinique. Rev Franç Endodontie 1988 ; 7 : 9-27.

Penesis VA, Fitzgerald PI, Fayad MI, Wenckus CS, BeGole EA, Johnson BR. Outcome of one-visit and two-visit endodontic treatment of necrotic teeth with apical periodontitis : a randomized controlled trial with one-year evaluation. J Endod 2008 ; 34 : 251-257.

Perez AL, Spears R, Gutmann JL, Opperman LA. Osteoblasts and MG-63 osteosarcoma cells behave differently when in contact with ProRoot MTA and White MTA. Int Endod J 2003 ; 36 : 564-570.

Pertot WJ. How to use Thermafil successfully. Endodontic Practice 2000 ; 3 : 20-29.

Pertot WJ, Simon S. L'obturation canalaire. *In* : Pertot WJ, Simon S. Le traitement endodontique. Paris : Quintessence International, coll. « Réussir » 2003.

Pertot WJ, Camps J, Franquin JC. La biocompatibilité des matériaux d'obturation canalaire. Real Clin 1992a ; 3 : 103-112.

Pertot WJ, Stéphan G, Tardieu C, Proust JP. Comparison of the intraosseous biocompatibility of Dyract and Super EBA by implantation into the femur of rabbits. J Endod 1997 ; 23 : 315-319.

Peters LB, Wesselink PR. Periapical healing of endodontically treated teeth in one and two visits obturated in the presence or absence of detectable microorganisms Int Endod J 2002 ; 35 ; 660-667.

Pitout E, Oberholzer TG, Blignaut E, Molepo J. Coronal leakage of teeth root-filled with gutta-percha or resilon root canal filling material. J Endod 2006 ; 32 : 879-881.

Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1995 ; 79 : 756-762.

Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Backland LK, Kariyawasam SP. Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. J Am Dent Assoc 1996 : 127 ; 1491-1494.

Pogrel MA. Damage to the inferior alveolar nerve as the result of root canal therapy. J Am Dent Assoc 2007 ; 138 : 65-69.

Pommel L, Jacquot B, Camps J. Lack of correlation among three methods for evaluation of apical leakage. J Endod 2001 ; 27 : 347-350.

6684_.indb 278 01/08/12 15:36

Pommel L, About I, Pashley D, Camps J. Apical leakage of four endodontic sealers. J Endod 2003 ; 29 : 208-210.

Portenier I, Haapasalo H, Rye A, Waltimo T, Ørstavik D, Haapasalo M. Inactivation of root canal medicaments by dentine, hydroxylapatite and bovine serum albumin. Int Endod J 2001 ; 34 : 184-188.

Rafter M. Apexification : a review. Dent Traumatol 2005 ; 21 : 1-8.

Ray HA, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. Int Endod J 1995 ; 28 : 12-18.

Regan JD, Gutmann JL, Witherspoon DE. Comparison of Diaket and MTA when used as root end filling materials to support regeneration of the periradicular tissues. Int Endod J 2002 ; 35 ; 840-847.

Rickert UG, Dixon CM. The controlling of root surgery. Internat Dent Congress (8th) Tr Suppl, 1931 ; Sec IIIa : 15-22.

Ricucci D, Bergenholtz G. Bacterial status in root-filled teeth exposed to the oral environment by loss of restoration and fracture or caries. A histobacteriological study of treated cases. Int Endod J 2003 ; 36 : 787-802.

Romieu OJ, Jacquot B, Callas-Etienne S, Dutilleul PY, Levallois B, Cuisinier FJ. Gas permeability : a new quantitative method to assess endodontic leakage. Biomed Tech (Berl) 2008 ; 53 : 181-184.

Rubinstein RA, Kim S. Short-term observation of the results of endodontic surgery with the use of surgical operating microscope and Super-EBA as root-end filling material. J Endod 1999 ; 25 : 43-45.

Rubinstein RA, Kim S. Long-term follow-up of cases considered healed one year after apical microsurgery. J Endod 2002 ; 28 : 378-383.

Safavi KE, Nichols FC. Alteration of biological properties of bacterial lipopolysaccharide by calcium hydroxide treatment. J Endod 1994 ; 20 : 127-129.

Sagsen B, Er O, Kahman Y, Akdogan G. Resistance to fracture of roots filled with three different techniques. Int Endod J 2007 ; 40 : 31-35.

Saidon J, He J, Zhu Q, Safavi K, Spångberg LS. Cell and tissue reactions to mineral trioxide aggregate and Portland cement. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2003 ; 95 : 483-489.

Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D. Survival of *Enterococcus faecalis* in infected dentinal tubules after root canal filling with different root canal sealers *in vitro*. Int Endod J 2004 ; 37 : 193-198.

Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. J Endod 2005 ; 31 : 97-100.

Sathorn C, Parashos P, Messer HH. Effectiveness of single- versus multiple-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis : a systematic review and meta-analysis. Int Endod J 2005 ; 38 : 347-355.

Saunders EM. *In vivo* findings associated with heat generation during thermomechanical compaction of gutta-percha. 2. Histological response to temperature elevation on the external surface of the root. Int Endod J 1990 ; 23 : 268-274.

Saunders WP, Saunders EM, Gutmann JL. An assessment of the plastic Thermafil obturation technique. Part 3. The effect of post space preparation on the apical seal. J Endod 1993 ; 26 : 184-189.

Schaeffer MA, White RR, Walton RE. Determining the optimal obturation length : a meta-analysis of literature. J Endod 2005 ; 31 : 271-274.

Schilder H. Filling root canals in three dimensions. Dent Clin North Am 1967 ; 11 : 723-744.

Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. Dent Clin North Am 1974 ; 18 : 269-296.

Schilder H, Goodman A, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. Part V. Volume changes in bulk gutta-percha as a function of temperature and its relationship to molecular phase transformation. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1985 ; 59 : 285-296.

Schmalz G. Root canal filling materials. *In* : Bergenholtz G, Horsted-Bindslev P, Reit C (eds). Textbook of endodontology. Copenhague : Blackwell Munksgaard, 2003 : 261-285.

Schmalz G, Hiller KA, Aslan-Dörter F. New developments in the filter test system for cytotoxicity testing. Mater Sci Mater Med 1994 : 5 : 43-51.

Schröder U. Effects of calcium hydroxide-containing pulp capping agents on pulp cell migration, proliferation, and differentiation. J Dent Res 1985 ; 64 : 541-548.

Schwandt NW, Gound TG. Resorcinol-formaldehyde resin « Russian Red » endodontic therapy. J Endod 2003 ; 29 : 435-437.

Serene TP, Vesely J, Boackle RJ. Complement activation as a possible *in vitro* indication of the inflammatory potential of endodontic materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1988 : 65 : 354-357.

Shabahang S, Torabinejad M. Treatment of teeth with open apices using mineral trioxide aggregate. Pract Perio Aesth Dent 2000 ; 12 : 315-319.

Shah PM, Chong BS, Sidhu SK, Ford TR. Radiopacity of potential root-end filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1996 ; 81 : 476-479.

Shalhav M, Fuss Z, Weiss EI. *In vitro* antibacterial activity of a glass ionomer endodontic sealer. J Endod 1997 ; 23 : 616-619.

Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR. Leakage along apical root fillings with and without smear layer using two different leakage models : a two-month longitudinal *ex vivo* study. Int Endod J 2006 ; 39 : 968-976.

Shie MY, Huang TH, Kao CT, Huang CH, Ding SJ. The effect of a physiologic solution pH on properties of white mineral trioxide aggregate. J Endod 2009 ; 35 : 98-101.

Shipper G, Ørstavik D, Teixeira FB, Trope M. An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilon). J Endod 2004 ; 30 : 342-347.

Shipper G, Teixeira FB, Arnold RR, Trope M. Periapical inflammation after coronal microbial. inoculation of dog roots filled with gutta-percha or Resilon. J Endod 2005 ; 31 ; 91-96.

Shuping GB, Ørsatvik D, Sigurddsson A, Trope M. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. J Endod 2000 ; 26 : 751-755.

Silvestre JF, Albares MP, Blanes M, Pascual JC, Pastor N. Allergic contact gingivitis due to eugenol present in a restorative dental material. Contact Dermatitis 2005 ; 52 : 341.

Simon S, Pertot WJ. Traitement des dents à apex ouverts. in : Réussir la reprise de traitement endodontique. Paris : Quintessence International, 2008.

6684_.indb 279 01/08/12 15:36

Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P. The use of mineral trioxide naggregate in one-visit apexification treatment : a prospective study. Int Endod J 2007 ; 40 : 186-197.

Simon S, Cooper P, Smith A, Picard B, Ifi CN, Berdal A. Evaluation of a new laboratory model for pulp healing : preliminary study. Int Endod J 2008 ; 41 : 781-790.

Siqueira JF Jr, Lopes HP. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide : a critical review. Int Endod J 1999 ; 32 : 361-369.

Siqueira JF Jr, Pereira da Silva CHF, Cerqueira MDO, Lopes HP, Uzeda M. Effectiveness of four chemical solutions in eliminating *Bacillus subtilis* spores on gutta-percha cones. Endod Dent Traumatol 1998 ; 14 : 124-126.

Sjögren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. J Endod 1990 ; 23 : 498-504.

Sjögren U, Figdor D, Spångberg L, Sundqvist G. The antibacterial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. Int Endod J 1991 ; 24 : 119-125.

Sjögren U, Sundqvist G, Nair PN. Tissue reaction to gutta-percha particles of various sizes when implanted subcutaneously in guinea pigs. Eur J Oral Sci.1995 ; 103 : 313-321.

Sjögren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G. Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. Int Endod J 1997 ; 30 : 297-306.

Skidmore LJ, Berzins DW, Bahcall JK. An *in vitro* comparison of the intraradicular dentin bond strength of Resilon and gutta-percha. J Endod 2006 ; 32 : 963-966.

Smith CS, Setchell DJ, Harty FJ. Factors influencing the success of conventional root canal therapy. A five-year retrospective study. Int Endod J 1993 ; 26 : 321-333.

Stuart CH, Schwartz SA, Beeson TJ. Reinforcement of immature roots with a new resin filling material. J Endod 2006 ; 32 : 350-353.

Su Y, Wang C, Ye L. Healing rate and post-obturation pain of single- versus multiple-visit endodontic treatment for infected root canals : a systematic review. J Endod 2011 ; 37 : 125-132.

Susini G, About I, Tran-Hung L, Camps J. Cytotoxicity of Epiphany and Resilon in a root canal model. Int Endod J 2006 ; 39 : 940-944.

Tang HM, Torabinejad M, Kettering JD. Leakage evaluation of root end filling materials using endotoxin. J Endod 2002 ; 28 ; 5-7.

Tassery H, Rémusat M, Koubi G, Pertot WJ. A comparison of the intraosseous biocompatibility of Vitremer and Super EBA by implantation into the mandible of rabbits. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1997 ; 83 : 602-608.

Tay FR, Pashley DH, Williams MC, Raina R, Loushine RJ, Weller RN *et al.* Suceptibility of polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. I. Alcaline hydrolysis. J Endod 2005a ; 31 : 593-598.

Tay FR, Yiu CKY, Yau JYY, Yiu-Fai M, Loushine RJ, Weller RN *et al.* Suceptibility of Polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. II. Gravimetric evaluation of enzymatic hydrolysis. J Endod 2005b ; 31 : 737-741.

Teixeira FB, Teixeira ECN, Thompson JY, Trope M. Fracture resistance of endodontically treated roots using a new type of resin filling material. J Am Dent Assoc 2004 ; 135 : 646-652.

Thomson TS, Berry JE, Somerman MJ, Kirkwood KL. Cementoblasts maintain expression of osteocalcin in the presence of mineral trioxide aggregate. J Endod 2003 ; 29 : 407-412.

Torabinejad M, Parirokh M. Mineral trioxide aggregate : a comprehensive literature review. Part II : leakage and biocompatibility investigations. J Endod 2010 ; 36 : 190-202.

Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. J Endod 1993 ; 19 : 591-595.

Torabinejad M, Hilga RK, Mckendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root end filling materials : effects of blood contamination. J Endod 1994 ; 20 : 159-163.

Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. J Endod 1995a ; 21 : 349-353.

Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. J Endod 1995b ; 21 : 603-608

Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. J Endod 1995c, 21 : 403-6.

Torabinejad M, Hong CU, Pit Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. J Endod 1995d ; 21 : 489-492.

Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry D, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam SP. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. J Endod 1997 ; 23 : 225-228.

Tronstad L. Tissue reactions following apical plugging of the root canal with dentin chips in monkey teeth subjected to pulpectomy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1978 ; 45 : 297-304.

Tronstad L, Asbjørnsen K, Døving L, Pedersen I, Eriksen HM. Influence of coronal restorations on the periapical health of endodontically treated teeth. Endod Dent Traumatol 2000 ; 16 : 218-221.

Trope M. Resilon will biodegrade from lipases released by bacteria or by bacterial or salivary enzymes. J Endod 2006 ; 32 : 85-86.

Trope M, Chow E, Nissan R. *In vitro* endotoxin penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. Endod Dent Traumatol 1995 ; 11 : 90-94.

Trope M, Lost C, Schmitz HJ, Friedman S. Healing of apical periodontitis in dogs after apicoectomy and retrofilling with various filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1996 ; 81 : 221-228.

Tunç ES, Sönmez IS, Bayrak S, EÐilmez T. The evaluation of bond strength of a composite and a compomer to white mineral trioxide aggregate with two different bonding systems. J Endod 2008 ; 34 : 603-605.

Tunga U, Bodrumlu E. Assessment of the sealing ability of a new root canal obturation material. J Endod 2006 ; 32 : 876-878.

van Zyl SP, Gulabivala K, Ng YL. Effect of customization of master gutta-percha cone on apical control of root filling using different techniques : an *ex vivo* study. Int Endod J 2005 ; 38 : 658-666.

Versiani MA, Carvalho-Junior JR, Padilha MI, Lacey S, Pascon EA, Sousa-Neto MD. A comparative study of physicochemical properties of AH Plus and Epiphany root canal sealants. Int Endod J 2006 ; 39 : 464-471.

6684_.indb 280 01/08/12 15:36

Vertucci FJ. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. Endod Topics 2005 ; 10 ; 3-29.

Vranas RN, Hartwell GR, Moon PC. The effect of endodontic solutions on resorcinol-formalin paste. J Endod 2003 ; 29 : 69-72.

Walker MP, Diliberto A, Lee C. Effect of setting conditions on mineral trioxide aggregate flexural strength. J Endod 2006 ; 32 : 334-336.

Waltimo TM, Sirén EK, Orstavik D, Haapasalo MP. Susceptibility of oral *Candida* species to calcium hydroxide *in vitro*. Int Endod J 1999 ; 32 : 94-98.

Waltimo TM, Boiesen J, Eriksen HM, Orstavik D. Clinical performance of 3 endodontic sealers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2001 ; 92 : 89-92.

Williamson AE, Dawson DV, Drake DR, Walton RE, Rivera EM. Effect of root canal filling/sealer systems on apical endotoxin penetration : a coronal leakage evaluation. J Endod 2005 31 : 599-604.

Weiger R, Rosendahl R, Löst C. Influence of calcium hydroxide intracanal dressings on the prognosis of teeth with endodontically induced periapical lesions. Int Endod J 2000 ; 33 : 219-226.

Wu MK, Wang M. Clinical and experimental observations on resinifying therapy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1986 ; 62 : 441-448.

Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. J Endod 1998 ; 24 : 557-560.

Yaltirik M, Ozbas H, Bilgic B, Issever H. Reactions of connective tissue to mineral trioxide aggregate and amalgam. J Endod 2004 ; 30 : 95-99.

Zhang K, Kim YK, Cadenaro M, Bryan TE, Sidow SJ, Loushine RJ *et al.* Effects of different exposure times and concentrations of sodium hypochlorite/ethylenediaminetetraacetic acid on the structural integrity of mineralized dentin. J Endod 2010 ; 36 : 105-109.

Lectures conseillées

Clinton K, Himel V. Comparison of a warm gutta-percha obturation technique and lateral condensation. J Endod 2001 ; 27 : 692-695.

De-Deus G, Brandão MC, Fidel RAS, Fidel SR. The sealing ability of GuttaFlow™ in oval-shaped canals : an *ex vivo* study using a polymicrobial leakage model. Int Endod J 2007 ; 40 : 794-799.

Felippe M, Felippe W, Marques M, Antoniazzi J. The effect of the renewal of calcium hydroxide paste on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. Int Endod J 2005 ; 38 : 436-442.

Goldberg F, Artaza L, De Silvio A. Effectiveness of different obturation techniques in the filling of simulated lateral canals. J Endod 2001 ; 27 : 362-364.

Leonardo MR, Almeida WA, da Silva LA, Utrilla LS. Histological evaluation of the response of apical tissues to glass ionomer and zinc oxide-eugenol based sealers in dog teeth after root canal treatment. Endod Dent Traumatol 1998 ; 14 : 257-261

Montgomery S. Chemical decontamination of gutta percha cones with polyvinyl pyrolidone-iodine. Oral Surg Oral Pathol Oral Med 1971 ; 31 : 358-366.

Pertot WJ, Machtou P. L'étanchéité coronaire : un facteur de réussite du traitement endodontique. Cah Prothese 2001 ; 116 : 21-29.

Pertot WJ, Camps J, Rémusat M, Proust JP. *In vivo* comparison of two root canal sealers implanted into the mandibular bone of rabbit. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1992b ; 73 : 613-620.

Sarrami N, Pemberton MN, Thornhill MH, Theaker ED. Adverse reaction associated with the use of eugenol in dentistry. Br Dent J 2002 ; 193 : 257-259.

Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. J Endod 1995e ; 21 : 295-299.

Webber RT. Apexogenesis versus apexification. Dent Clin North Am 1984 ; 28 : 669-697.

Wu M, Kast'akova A, Wesselink P. Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars. Int Endod J 2001 ; 34 : 485-491.

6684_.indb 281 01/08/12 15:36